

水平井流入剖面的简捷计算方法

齐成伟¹, 龙芝辉¹, 汪志明²

(1. 重庆科技学院石油与天然气工程学院, 重庆 401331; 2. 中国石油大学(北京)石油工程学院, 北京 102249)

摘要:在分析现有水平井流入剖面计算方法的基础上, 尝试从纯数学、物理的角度建立简捷的方法, 以得出无限导流假设条件下最精确的流入剖面。将远场的影响用积分近似代替, 从而化简了无穷累和, 并通过平衡法得到了无限导流假设条件下无限大均质等厚水平地层中水平井的流入剖面。新提出的方法回避了各种流动参数, 只要已知生产段长度、生产段偏心率、地层厚度和总产能便能求得流入剖面, 具有很强的理论性和实用性。与以往的数值模拟方法相比较, 该方法简捷准确, 而且, 该方法可以作为管-渗耦合下流入剖面各种计算方法精度的退化评价标准。

关键词:无限导流 水平井 流入剖面 平衡方程

中图分类号: TE312 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2011)04-0090-05

A New and Simple Method for Calculating Horizontal Well Inflow Distribution

Qi Chengwei¹, Long Zhihui¹, Wang Zhiming²

(1. College of Oil and Gas Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing, 401331, China; 2. College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing, 102249, China)

Abstract: On the basis of analyzing the current methods for calculating horizontal well inflow distribution, mathematical and physical method was used in order to obtain an accurate inflow distribution under the assumption of infinite conductivity. After the approximate replacement of far-field effect by integral and the simplification of the infinite summation, the distribution of inflow along the production segment in infinite acline was calculated through balancing method under the condition of infinite conductivity. The inflow distribution was obtained with the mere availability of the length and shaft eccentricity of production segment, reservoir thickness and the total flow. As this method avoided a variety of flow parameters, it was simple and accurate comparing with numerical simulation. It was more valuable that this method could be used as the degradation evaluating criterion for the precision of various calculating methods of inflow distribution on the condition of pipe-seepage flow.

Key words: infinite conductivity; horizontal well; inflowing distribution; equilibrium equation

1 概述

关于水平井流入剖面的相关问题, 国内外已有很多学者进行过研究, 这些研究包括数值模拟^[1-15]、软件模拟和喷泉实验^[16]。然而, 数值模拟受制于差分计算的精度及边界设定情况, CFD 软件模拟又依赖于网格的划分精度。考虑的因素(如沿程摩阻、热耗散等)越多, 研究结果越不准确、可靠。

如何评价管-渗耦合下流入剖面的计算精度? 面对现有各种各样的算法, 不好确定。但是, 可以比较各种耦合算法在退化情况下的精度。例如, 陈德民等^[17]利用渗透率各向异性带状水平地层中横向

完全穿透水平井的精确产能公式, 证实了渗透率各向异性带状水平地层中横向水平井拟三维产能公式在渗透比为 1 的退化情况下具有非常高的预测精度。在此, 笔者选择的退化情况是井筒无限导流, 并将井筒无限导流假设下最精确的流入剖面作为管-渗耦合下流入剖面计算精度的“退化评价标准”。

收稿日期: 2010-05-12; 改回日期: 2011-05-11。

作者简介: 齐成伟(1983—), 男, 山东泰安人, 2007 年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业, 2010 年获中国石油大学(北京)油气井工程专业硕士学位, 主要从事油气渗流力学、井筒复杂流动与控制、现代完井工程等方面的研究工作。

联系方式: field_theory@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项“复杂结构井优化设计与控制关键技术”(编号: 2009ZX05009-005)部分研究成果。

“退化评价”意指必要而非充分,具体含义为:在退化情况下精度高的,其精度不一定高;在退化情况下精度低的,其精度一定低。要树立“标准”,就必须求得井筒无限导流假设下最精确的流入剖面,而要求得最精确的流入剖面就必须回避各种无关参数。

能否屏蔽所有的干扰因素绘出流入剖面,是笔者要着力回答的问题。笔者尝试从纯数学、物理的角度建立简捷的方法得出无限导流假设下最精确的流入剖面,为管-渗耦合下流入剖面各种计算方法的精度评价提供退化评价标准,同时也为完井优化以及井下生产控制提供理论依据。

2 求解思想

在二维空间中,笔者已经获得了无限大均质等厚水平地层中环形裂缝群^[18]、带形均质等厚水平地层中横向和纵向双裂缝^[19]的流入剖面公式;同时,通过分析裂缝激发的渗流场中流体质点的运动学规律^[20],得到了流入剖面呈 U 形的根本原因。在三维空间中,由于水平井的稳态渗流场至今未能精确解析,因而无法推导出水平井的流入剖面公式。为了得出准确的水平井流入剖面,必须采用数值方法。

笔者研究的模型为,具有无限导流能力的水平直井筒处于无限大均质等厚的水平地层中。井筒无限导流等价于井筒等势,即井筒内沿井轴方向速度为零。假设井筒生产段长度为 $2s$,地层厚度为 H ,生产段距地层底部的高度为 h 。首先做镜像反映,然后将生产段均分为 $2n$ 段,并记第 i 条井筒生产段上第 j 段的流入量为 $q_{i,j}$,如图 1 所示。当 n 足够大时,可近似认为每一段上均匀入流。那么所有(原像

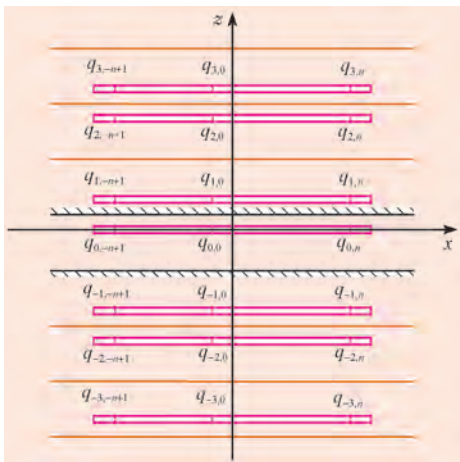


图 1 生产段离散化镜像反映示意

Fig. 1 The schematic diagram of the mirror reflection of discrete production segment

和镜像)生产段上左侧第 $1-(j-1)$ 段在第 0 条生产段、第 j 段处合速度的水平分速度,与所有(原像和镜像)生产段上右侧第 $(j+1)-2n$ 段在第 0 条生产段、第 j 段处合速度的水平分速度相抵消。

3 近似处理

问题的关键在于, $\sum_{i=-\infty}^{+\infty} q_{i,j}$ 在点 $(0,j)$ 处产生的合速度如何求出。以下笔者以 $2k$ 表示偶数,以 $2k-1$ 表示奇数,其中 k 是整数。

当 i 为偶数时, $q_{i,j}$ 在点 $(0,j)$ 处产生速度的大小为:

$$v_{2k,j}^{0,j} = \frac{q_{2k,j'}}{4\pi \left\{ (2kH)^2 + \left[\frac{(j-j')s}{n} \right]^2 \right\}} \quad (1)$$

为简便起见,下文中省略 4π 。

$\sum_{k=-\infty}^{+\infty} q_{2k,j'}$ 在点 $(0,j)$ 处水平方向的分速度为:

$$\sum_{k=-\infty}^{+\infty} v_{2k,j'}^{0,j} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \frac{(j-j')sq_{2k,j'}}{n \left\{ (2kH)^2 + \left[\frac{(j-j')s}{n} \right]^2 \right\}^{3/2}} \quad (2)$$

式(2)中, v 表示 4π 倍水平方向的分速度。

目前在数学上无法将式(2)严格化简为初等或特殊函数,然而经过深入研究后发现可以非常精确地近似化简为初等函数解析式。

点汇的速度场为平方反比场,所以远场可以用积分代替。则:

$$\begin{aligned} \text{式(2)} \approx & \sum_{k=1}^{+1} \frac{(j-j')sq_{2k,j'}}{n \left\{ (2kH)^2 + \left[\frac{(j-j')s}{n} \right]^2 \right\}^{3/2}} + \\ & 2 \int_2^{+\infty} \frac{(j-j')sq_{2k,j'}}{n \left\{ (2kH)^2 + \left[\frac{(j-j')s}{n} \right]^2 \right\}^{3/2}} dk = \\ & \sum_{k=1}^{+1} \frac{(j-j')sq_{2k,j'}}{n \left\{ (2kH)^2 + \left[\frac{(j-j')s}{n} \right]^2 \right\}^{3/2}} + \\ & \frac{n^2 q_{2k,j'}}{(j-j')s} \left[\frac{1}{Hn} - \frac{4}{\sqrt{16H^2 n^2 + (j-j')^2 s^2}} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

例如,假设 $q_{2k,j'} = 128 \text{ m}^3/\text{s}$, $H = 20 \text{ m}$, $h = 12 \text{ m}$, $s = 100 \text{ m}$, $n = 1\ 000$ 。则当 $j - j' = 8$ 时,

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{+10} v_{2k,j'}^{0,j} & \approx 200.003\ 8 \text{ m/s}, \text{ 而 } \sum_{k=-1}^{+1} v_{2k,j'}^{0,j} + \\ 2 \int_2^{+\infty} v_{2k,j'}^{0,j} dk & \approx 200.003\ 6 \text{ m/s}; \text{ 当 } j - j' = 80 \text{ 时}, \end{aligned}$$

$$\sum_{k=-10\ 000}^{+10\ 000} \psi_{2k,j}^{0,j} \approx 2.036\ 57\ \text{m/s}$$
, 而 $\sum_{k=-1}^{+1} \psi_{2k,j}^{0,j} + 2 \int_2^{+\infty} \psi_{2k,j}^{0,j} dk \approx 2.034\ 14\ \text{m/s}$; 当 $j-j'=800$ 时, $\sum_{k=-10\ 000}^{+10\ 000} \psi_{2k,j}^{0,j} \approx 0.080\ 002\ 5\ \text{m/s}$, 而 $\sum_{k=-1}^{+1} \psi_{2k,j}^{0,j} + 2 \int_2^{+\infty} \psi_{2k,j}^{0,j} dk \approx 0.072\ 053\ 1\ \text{m/s}$. 随着 $j-j'$ 的增大, 误差越来越大, 但与 $j-j'$ 很小时相比数值已经小到了可以忽略的地步. 所以, 式(3)的近似处理方法具有合理性.

同理, i 为奇数时:

$$\sum_{k=-\infty}^{+\infty} \frac{(j-j')sq_{2k-1,j'}}{n \left\{ (2kH-2h)^2 + \left[\frac{(j-j')s}{n} \right]^2 \right\}^{3/2}} \approx \sum_{k=-2}^{+2} \frac{(j-j')sq_{2k-1,j'}}{n \left\{ (2kH-2h)^2 + \left[\frac{(j-j')s}{n} \right]^2 \right\}^{3/2}} +$$

$$\begin{pmatrix} \xi(1) & 0 & -\xi(1) & \cdots & -\xi(2n-4) & -\xi(2n-3) & -\xi(2n-2) \\ \xi(2) & \xi(1) & 0 & \cdots & -\xi(2n-5) & -\xi(2n-4) & -\xi(2n-3) \\ \xi(3) & \xi(2) & \xi(1) & \cdots & -\xi(2n-6) & -\xi(2n-5) & -\xi(2n-4) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ \xi(2n-2) & \xi(2n-3) & \xi(2n-4) & \cdots & \xi(1) & 0 & -\xi(1) \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_{0,-n+1} \\ q_{0,-n+2} \\ q_{0,-n+3} \\ \vdots \\ q_{0,n-2} \\ q_{0,n-1} \\ q_{0,n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ Q \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

观察式(5)可以发现, 地层渗透率、流体黏度等干扰因素^[21]已不再参与计算, 流入剖面只与生产段长度、生产段偏心率、地层厚度和总产能有关. 也就是说, 当总产能已知, 根据生产段长度、生产段偏心率和地层厚度 3 个几何参数便可确定流入剖面. 实际上, 式(5)中系数矩阵的倒数第二行显示, 流入剖面曲线的几何形态与总产能并无关系. 当生产段长度、生产段偏心率和地层厚度 3 个几何参数固定时, 不同总产能下的流入剖面曲线总可以通过缩放纵轴实现重合. 这已在王艳艳等人^[16]的喷泉实验中得到了间接证实, 他们发现, 流入剖面的几何形态与压差无关; 而根据水平井的产能公式, 压差与总产能成正比^[18-19], 因而流入剖面的几何形态与总产能无关.

5 计算结果及分析

应用 Matlab 7.0 语言编制程序^[22], 可以绘出流入剖面图. 取 $Q=1\ \text{m}^3/\text{s}$, $H=20\ \text{m}$, 划分段数 $2n=2\ 000$. 由于化分段数决定计算的精度, 以每段长度

$$2 \int_3^{+\infty} \frac{(j-j')sq_{2k-1,j'}}{n \left\{ (2kH-2h)^2 + \left[\frac{(j-j')s}{n} \right]^2 \right\}^{3/2}} dk = \sum_{k=-2}^{+2} \frac{(j-j')sq_{2k-1,j'}}{n \left\{ (2kH-2h)^2 + \left[\frac{(j-j')s}{n} \right]^2 \right\}^{3/2}} + \frac{nq_{2k-1,j'}}{H(j-j')s} \left[1 + \frac{2(h-3H)}{\sqrt{4(h-3H)^2 + (j-j')^2 s^2/n^2}} \right] \quad (4)$$

4 平衡方程

记式(3)+式(4)= $\xi(j-j')q_{i,j'}$. j' 从 2 遍历到 $2n-1$, 可列出 $2n-2$ 个方程. 再加上总产能 Q 已知及流入剖面的对称性, 可得到封闭的方程组. 其矩阵形式为:

不大于井筒特征尺度 0.1 m 为宜.

5.1 流入剖面随 h/H 的变化特征

当生产段长度为 200 m, 即 $s=100\ \text{m}$ 时, 绘出 $h=10, 14$ 和 $18\ \text{m}$ 时的流入剖面, 见图 2(图中, 设生产段中点为坐标零点).

由图 2 可知, 随着偏心率 $(h-H/2)/(H/2)$ 的增大, 流入剖面中部上浮, 两端下降, 越趋平直. 细致观察发现, $h=10\ \text{m}$ 和 $h=14\ \text{m}$ 的流入剖面更加临近. 这说明只有偏心率大于 0.5 时, 流入剖面才开始发生大的变化. 但总体上流入剖面并不因偏心率的变化而产生显著的变化, 如图 2(b)所示便是把纵坐标调至 $(0, 0.012)$ 的结果.

5.2 流入剖面随 L/H 的变化特征

以下研究生产段长度分别为 100, 200 和 400 m 且偏心率为 0 的 3 口水平井. 为了比较生产段长度对流入剖面的影响, 必须进行无因次化处理. 将生产段长度视为 2, 则地层厚度分别为 0.4, 0.2 和 0.1. 流入剖面随 L/H 的变化趋势如图 3 所示(设生产段中点为坐标零点).

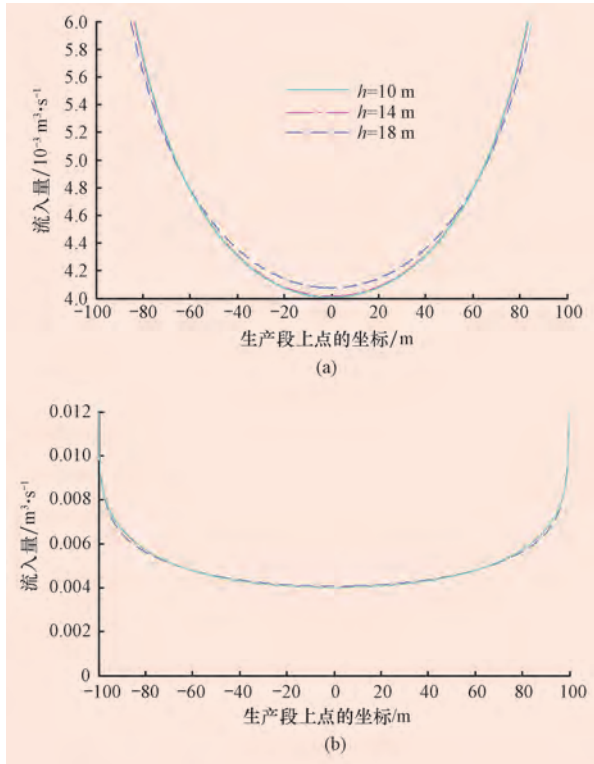
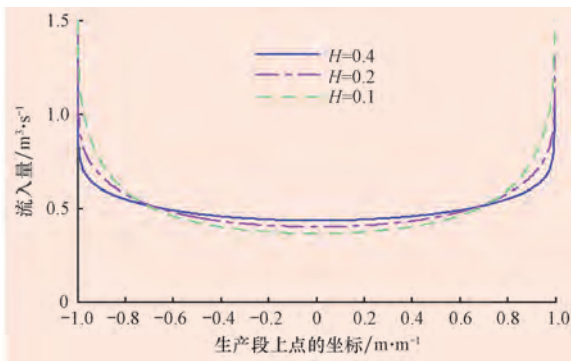


图 2 流入剖面随偏心率的变化趋势

Fig. 2 The change of inflow distribution with varying eccentricity

图 3 流入剖面随 L/H 的变化趋势Fig. 3 The change of inflow distribution with varying L/H

由图 3 可知,随着 L/H 的增大,流入剖面中部下沉,两端上翘,越发弯曲。这是可以理解的:当地层上下无界时,线汇的流入剖面为 $q/(2s)$,即直线^[22];平板地层中裂缝的流入剖面为 $q/(\pi \sqrt{s^2 - x^2})$ ^[18,22]。图 3 中的 3 条曲线正好衔接了从线汇($L/H \rightarrow 0$)到裂缝($L/H \rightarrow \infty$)的变化趋势。

5.3 划分段数对流入剖面计算结果的影响

划分段数直接影响流入剖面的计算精度^[1,22],而很多研究中忽视了划分段数对计算精度的影响。

最合理的做法是:首先将生产段划分为 n 段,计算出端部那一段上的流入量;再将生产段划分为 $n+1$ 段,再次计算出端部那一段上的流入量;当两次计算结果差值的绝对值 $|\partial q_{0,-n+1}/\partial n|$ 小于设定的正小数 ϵ 时终止计算。例如,设定 $\epsilon = (Q/2s)/100$ 时便具有极高的精度。如此,便实现了对计算精度的随意控制。特别是对于均匀密度射孔完井,划分段数应尽量与孔眼分布吻合^[6,9,14]。

6 结 论

1) 利用稳态渗流场的速度平衡方程,计算出了水平井的流入剖面。分析平衡方程,可以看到流入剖面仅与生产段长度、生产段偏心率、地层厚度和总产能有关。

2) 生产段偏离地层中心,流入剖面中部上浮,两端下降,越趋平直。但整体看来,并没有大幅度的变化。因此,偏心率对流入剖面的影响完全可以忽略,从而对总产能的影响很小。于是,偏心率的设计只是减缓底水脊进的需要。

3) 生产段越长,流入剖面越发弯曲。这个发现,对于井身结构设计和完井优化具有一定的指导作用。

4) 建立的计算流入剖面的平衡法,屏蔽了很多干扰因素,可更加清晰地认识流入剖面,而且方法简捷,可操作性、重复性强。

5) 建立的计算流入剖面的平衡法,具有较高的可控精度,可以作为管-渗耦合下流入剖面各种计算方法精度的退化评价标准。

参 考 文 献

- [1] Penmarcha V R, Aziz K. Comprehensive reservoir/wellbore model for horizontal wells[J]. SPE Journal, 1999, 4(3): 224-234.
- [2] Ouyang L B, Aziz K. A simplified approach to couple wellbore flow and reservoir inflow for arbitrary well configurations[R]. SPE 48936, 1998.
- [3] 刘想平,郭呈柱,蒋志祥,等. 油层中渗流与水平井筒内流动的耦合模型[J]. 石油学报, 1999, 20(3): 82-86.
Liu Xiangping, Guo Chengzhu, Jiang Zhixiang, et al. The model coupling fluid flow in the reservoir with flow in the horizontal wellbore[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(3): 82-86.
- [4] 陈伟,段永刚,黄诚,等. 井筒与油藏耦合条件下的水平井非稳态产能预测(III): 实例分析[J]. 西南石油学院学报, 2004, 26(1): 29-31.
Chen Wei, Duan Yonggang, Huang Cheng, et al. Transient per-

- formance prediction of horizontal well with coupled in wellbore and reservoir part 3; case analysis[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26(1): 29-31.
- [5] 范玉平, 韩国庆, 杨长春. 鱼骨井产能预测及分支井形态优化[J]. 石油学报, 2006, 27(4): 101-104.
Fan Yuping, Han Guoqing, Yang Changchun. Production forecast for herringbone well and optimum configuration of lateral holes[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(4): 101-104.
- [6] 王瑞和, 张玉哲, 步玉环, 等. 射孔水平井产能分段数值计算[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(5): 630-633.
Wang Ruihe, Zhang Yuzhe, Bu Yuhuan, et al. A segmentally numerical calculation method for estimating the productivity of perforated horizontal wells[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(5): 630-633.
- [7] 陈卫东, Hill A D. 多分支井产能预测方法[J]. 中国海上油气, 2006, 18(6): 394-398.
Chen Weidong, Hill A D. Development of multilateral well deliverability model[J]. China Offshore Oil and Gas, 2006, 18(6): 394-398.
- [8] 黄世军, 程林松, 赵凤兰, 等. 薄互层油藏中阶梯水平井产能评价模型研究[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(3): 60-65.
Huang Shijun, Cheng Linsong, Zhao Fenglan, et al. The productivity evaluation model of the stepped horizontal well in thin interbedded reservoirs[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(3): 60-65.
- [9] 苏玉亮, 张东, 李明忠. 油藏中渗流与水平井筒内流动的耦合数学模型[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(6): 752-758.
Su Yuliang, Zhang Dong, Li Mingzhong. Mathematical model coupling seepage in the reservoir with flow in the horizontal wellbore[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 36(6): 752-758.
- [10] 安永生, 吴晓东, 韩国庆. 智能井技术在五点法井网中的应用[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(2): 64-66.
An Yongsheng, Wu Xiaodong, Han Guoqing. Application of smart well technology in five-spot well pattern[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(2): 64-66.
- [11] 周生田, 郭希秀. 水平井变质量流与油藏渗流的耦合研究[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(2): 85-88.
Zhou Shengtian, Guo Xixiu. Study of coupling horizontal wells variable-mass-rate flow with flow in reservoir[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(2): 85-88.
- [12] 姜振强, 王晓冬, 周丛丛. 井筒压降对水平井入流动态的影响[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(2): 81-84.
Jiang Zhenqiang, Wang Xiaodong, Zhou Congcong. Effect of pressure drop along wellbore on the inflow performance of horizontal wells[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(2): 81-84.
- [13] 汪志明, 张磊敏, 魏建光, 等. 分支参数对多分支井入流及产能的影响规律研究[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(3): 83-87.
Wang Zhiming, Zhang Leimin, Wei Jianguang, et al. The effect of branch parameters on inflow performance and productivity on multilateral wells [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(3): 83-87.
- [14] 周生田, 郭希秀. 射孔水平井流动与油藏渗流的耦合研究[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(4): 84-87.
Zhou Shengtian, Guo Xixiu. Study of coupling flow in perforated horizontal well with flow in reservoir[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(4): 84-87.
- [15] 廉培庆, 程林松, 张继龙, 等. 考虑表皮影响的底水油藏水平井流动分析[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(4): 94-98.
Lian Peiqing, Cheng Linsong, Zhang Jilong, et al. Analysis of horizontal well flow with skin effect in bottom water driven reservoirs[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 94-98.
- [16] 王艳艳, 周欢, 朱黎明, 等. 分支水平井入流剖面实验研究[J]. 油气田地面工程, 2011, 30(1): 45-46.
Wang Yanyan, Zhou Huan, Zhu Liming, et al. Experimental study on inflow profile of branched horizontal wells[J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2011, 30(1): 45-46.
- [17] 陈德民, 崔一平, 王文臣, 等. 分支水平井产能公式的精度分析[J]. 油气田地面工程, 2011, 30(3): 15-17.
Chen Demin, Cui Yiping, Wang Wenchen, et al. Accuracy analysis of multi-lateral horizontal well productivity formulas [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2011, 30(3): 15-17.
- [18] 齐成伟. 环形裂缝群激发的渗流场之复分析[J]. 内蒙古石油化工, 2009, 35(21): 39-40.
Qi Chengwei. Complex analysis of the permeation fluid field excited by cracks arranged in a ring structure[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2009, 35(21): 39-40.
- [19] 齐成伟, 龙芝辉, 汪志明, 等. 带形地层中裂缝激发的渗流场之复分析[J]. 内蒙古石油化工, 2010, 36(22): 38-39.
Qi Chengwei, Long Zhihui, Wang Zhiming, et al. Complex analysis of seepage field excited by cracks in ribbon formation [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2010, 36(22): 38-39.
- [20] 齐成伟. 裂缝激发的渗流场之运动学分析[J]. 内蒙古石油化工, 2010, 36(6): 35-36.
Qi Chengwei. Kinematic analysis of seepage field excited by a straight crack with finite length [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2010, 36(6): 35-36.
- [21] 陈伟, 杨宇, 李允, 等. 无限导流水平井不稳态压力计算模型[J]. 油气井测试, 2006, 15(4): 8-10.
Chen Wei, Yang Yu, Li Yun, et al. A model of infinite-conductivity horizontal well transient pressure [J]. Well Testing, 2006, 15(4): 8-10.
- [22] 齐成伟, 师文静. 水平井渗流场的进一步探讨[J]. 内蒙古石油化工, 2009, 35(24): 192-195.
Qi Chengwei, Shi Wenjing. Further exploration of permeation fluid field excited by horizontal wells[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2009, 35(24): 192-195.