

底水气藏水平井见水时间研究

朱维耀, 黄小荷, 岳明

北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083

摘要 底水脊进是底水气藏水平井气藏工程研究中遇到的最大问题。利用镜像反映和势的叠加原理得到底水气藏水平井势分布, 导出考虑地层各向异性的水平井产能公式、水平井见水时间公式、底水脊进时任意时刻水脊高度的公式。计算结果表明, 底水水平井产能受水平井位置和地层各向异性影响, 减小水平井与底水的距离能增加水平井产量; 垂向渗透率越大的地层更利于底水驱气藏水平井产能的提高。水平井见水时间主要受水平井位置的影响, 水平井离底水距离越近, 见水时间越长。投产后底水先以较缓慢的速度上升, 到后期上升迅速。实例分析表明, 该方法对底水气藏水平井气藏工程设计和理论研究具有一定的指导意义。

关键词 底水气藏; 水平井; 水脊; 镜像反映; 见水时间

中图分类号 TE312

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.08.003

Prediction of Water Breakthrough Time of Horizontal Wells in Gas Reservoirs with Bottom Water

ZHU Weiyao, HUANG Xiaohe, YUE Ming

School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

Abstract Development of the horizontal well technology offers a new approach to exploitation of gas reservoirs with bottom water. The most important problem for a horizontal well in gas reservoir is water cresting which restricts the horizontal well to be developed effectively. Based on the imaging theory and potential energy superposition principle, a study on prediction of water breakthrough time of horizontal wells in gas reservoir with bottom water is presented. This paper derives the water breakthrough time formula and productivity of horizontal well in a reservoir with bottom water. In the process of derivation, factors, such as impermeable boundary on the top of the reservoir, equal pressure interface, anisotropy, height of water avoidance, all have influences on the potential distribution in the gas reservoirs with bottom water. The case study indicates that for a horizontal gas well with a constant production rate, the water breakthrough time is proportional to the height of water avoidance, and that the productivity of a horizontal well in gas reservoir with bottom water is affected by horizontal well location and formation anisotropy. The productivity of the horizontal well increases with the height of water avoidance but decreases with the vertical permeability. The results and the method are useful for gas reservoir engineering design and the theoretical study of horizontal well.

Keywords bottom water gas reservoir; horizontal wells; water coning; mirror imaging; water breakthrough time

应用水平井开发底水油气藏能够有效地减缓水锥锥进趋势及延长油气井的见水时间。许多学者在水平井的油藏工程方面进行了大量研究。Giger^[1]提出了水平井见水前水脊的二维解析解; Chaperon^[2]在忽略底水脊进中不动水流动约束的条件下, 研究了各向异性储层中水平井的水脊动态变化; Ozken^[3]假定油、水密度差可忽略, 研究了底水驱水平井随时

间变化的动态; Papatzacos^[4]用动边界理论预测了水平井的见水时间; Yang^[5]以数值模拟为基础, 给出了两个关于水脊计算的公式; Guo 等^[6,7]用数值模拟方法给出了底水脊进的两种修正方法; 范子菲等^[8-13]应用保角变换方法和势函数理论推导了底水驱动油藏水平井产能公式、临界产量, 并推导了气顶底水油藏水平井产能公式和见水时间, 优化了水平井参数; 程

收稿日期: 2013-08-16; 修回日期: 2014-01-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2013CB228002)

作者简介: 朱维耀, 教授, 研究方向为油气田开发、渗流力学, 电子信箱: weiyao@sina.com

引用格式: 朱维耀, 黄小荷, 岳明. 底水气藏水平井见水时间研究[J]. 科技导报, 2014, 32(8): 27-31.

林松等^[14]利用镜像反映和势的叠加原理预测了底水油藏水平井产能及见水时间;刘想平^[15]推导了底水油藏水平井三维稳态产能公式,将水平井视为点源组合的线源,对底水油藏水平井水锥进行了研究;时宇等^[16]将水平井视为由点源组合构成的线源,在忽略油水黏度的条件下,利用Newman乘积法对三维条件下底水油藏水平井压力分布进行了解析求解;还有学者在水平井参数优化进行了研究^[17-20]。底水气藏方面的研究主要集中在直井方面^[21-25],水平井方面的研究很少。文献[26]、[27]从完井角度对底水气藏水平井开发技术进行了研究,文献[28]根据物质平衡原理,推导了底水气藏开发的临界生产压差计算模型。本文应用镜像反映法和势函数叠加原理推导底水驱气藏的势分布、水平井产能公式及水平井见水时间,并分析水平井位置和地层非均质性对见水时间和产能的影响。

1 水平井底水气藏的势分布

1.1 普通气藏中任一点的势

引入拟压力函数

$$m^* = 2 \int_{p_a}^p \frac{p}{\mu(p)Z(p)} dp \quad (1)$$

式中, p_a 为任一参考压力, 可以取为 0 或 0.1 MPa。为了计算方便取为 0^[29], 即 $m^* = \frac{p^2}{\bar{\mu}\bar{Z}}$ 。

引入势函数

$$\Phi = m^* = \frac{p^2}{\bar{\mu}\bar{Z}} \quad (2)$$

$$d\Phi = dm^* = \frac{2p}{\bar{\mu}\bar{Z}} dp \quad (3)$$

式中, p 为压力, Pa; $\bar{\mu}$ 为平均压力下气体黏度, Pa·s; \bar{Z} 为气体压缩因子。

设在平面上存在一个点汇, 则其平面径向渗流时的产量为

$$q_{sc} = \frac{\pi K h Z_{sc} T_{sc}}{p_{sc} T} r \frac{dm^*}{dr} \quad (4)$$

式中, K 为气层渗透率, m^2 ; h 为气层厚度, m; Z_{sc} 为标准条件下气体压缩因子; T_{sc} 为标准状态下温度, K; p_{sc} 为标准状态下压力, Pa; T 为气层温度, K; r 为某点到点汇的距离, m。

令 $q_h = \frac{q_{sc}}{h}$, 将式(3)代入式(4)可得

$$\frac{q_h}{\pi r K} \frac{p_{sc} T}{T_{sc} Z_{sc}} = \frac{d\Phi}{dr} \quad (5)$$

分离变量积分得

$$\Phi = \frac{q_h}{\pi K} \frac{p_{sc} T}{T_{sc} Z_{sc}} \ln r + C \quad (6)$$

1.2 底水气藏中任意点势的导出

底水驱气藏示意图如图 1 所示, 上顶为封闭边界, 下底为底水, 气藏厚度为 h , 距气水界面 z_w 处有一水平井, 水平井长度为 L , 半径为 r_w , 产量为 Q_{sc} 。气水界面为恒压界面, 气水界面及其以上的气藏初始势函数为 Φ_c 。根据镜像反映原理, yz

平面有限区域地层可反映称无限空间两源两汇交互排列的一直线井排。令 $q'_{sc} = \frac{Q_{sc}}{L}$, 由叠加原理, 得到 xz 平面地层中任一点势分布为^[14]

$$\Phi(y, z) = \Phi_c + \frac{q'_{sc}}{2\pi K} \frac{p_{sc} T}{T_{sc} Z_{sc}} \ln \frac{\left(\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} - \cos \frac{\pi(z-z_w)}{2h} \right) \left(\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} + \cos \frac{\pi(z+z_w)}{2h} \right)}{\left(\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} + \cos \frac{\pi(z-z_w)}{2h} \right) \left(\operatorname{ch} \frac{\pi x}{2h} - \cos \frac{\pi(z+z_w)}{2h} \right)} \quad (7)$$

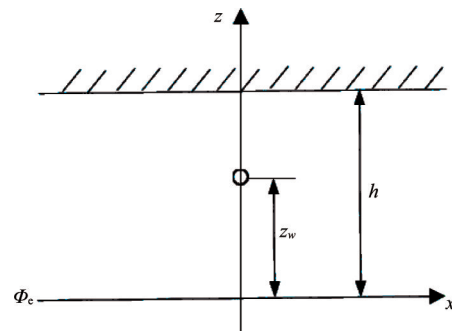


图 1 底水气藏水平井示意

Fig. 1 Schematic diagram of horizontal well in gas reservoirs with bottom water

2 气井产能公式

在井壁处 $x=r_w$, $z=z_w$, 则水平井井壁势为

$$\Phi_h = \Phi_c + \frac{q'_{sc}}{2\pi K} \frac{p_{sc} T}{T_{sc} Z_{sc}} \ln \frac{\left(\operatorname{ch} \frac{\pi r_w}{2h} - 1 \right) \left(\operatorname{ch} \frac{\pi r_w}{2h} + \cos \frac{\pi z_w}{h} \right)}{\left(\operatorname{ch} \frac{\pi r_w}{2h} + 1 \right) \left(\operatorname{ch} \frac{\pi r_w}{2h} - \cos \frac{\pi z_w}{h} \right)} \quad (8)$$

由于 $\frac{\pi r_w}{2h}$ 很小, 所以 $\operatorname{ch} \frac{\pi r_w}{2h} \approx 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi r_w}{2h} \right)^2$, 将此式代入上式, 简化为

$$\Phi_h = \Phi_c + \frac{q'_{sc}}{\pi K} \frac{p_{sc} T}{T_{sc} Z_{sc}} \left(\ln \frac{\pi r_w}{4h} + \ln \cot \frac{\pi z_w}{2h} \right) \quad (9)$$

$$q'_{sc} = \pi K \frac{T_{sc} Z_{sc}}{p_{sc} T} \frac{\Phi_c - \Phi_h}{\ln \frac{4h}{\pi r_w} + \ln \tan \frac{\pi z_w}{2h}} \quad (10)$$

将式(1)代入式(10), 得到水平井产能公式为

$$Q_{sc} = \frac{\pi K L T_{sc} Z_{sc}}{\bar{\mu}\bar{Z}} \frac{p_c^2 - p_h^2}{p_{sc} T \ln \frac{4h}{\pi r_w} + \ln \tan \frac{\pi z_w}{2h}} \quad (11)$$

式中, p_c 为气藏压力, Pa; p_h 为水平井底压力, Pa。

对于各向异性气藏, 水平渗透率为 K_h , 垂直渗透率为 K_v , 有平均渗透率 $K_c = \sqrt{K_h K_v}$, 地层各向异性比 $\beta = \sqrt{\frac{K_h}{K_v}}$, 可以得到各向异性气藏, 水平井产能为

$$Q_{sc} = \frac{\pi K_c L T_{sc} Z_{sc}}{\bar{\mu}\bar{Z}} \frac{p_c^2 - p_h^2}{p_{sc} T \ln \frac{4\beta h}{\pi r_w} + \ln \tan \frac{\pi z_w}{2h}} \quad (12)$$

3 气井见水时间公式

由底水气藏中任意点的势分布,即式(7)可求得井轴上(x=0)势函数梯度的计算方程为

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{q'_{sc} p_{sc} T}{2h T_{sc} Z_{sc}} \frac{\sin \frac{\pi(z+z_w)}{2h} - \sin \frac{\pi(z-z_w)}{2h}}{\sin \frac{\pi(z+z_w)}{2h} \sin \frac{\pi(z-z_w)}{2h}} \quad (13)$$

沿井轴(x=0)方向的渗流速度为

$$v_z = -\frac{K}{\mu} \frac{dp}{dz} = -\frac{K \bar{\mu} \bar{Z}}{\mu} \frac{d\Phi}{dz} = -\frac{q'_{sc} K}{4h \sqrt{\Phi}} \frac{p_{sc} T Z_{sc}}{T_{sc} Z_{sc}} \frac{\sin \frac{\pi(z+z_w)}{2h} - \sin \frac{\pi(z-z_w)}{2h}}{\sin \frac{\pi(z+z_w)}{2h} \sin \frac{\pi(z-z_w)}{2h}} \quad (14)$$

渗流速度 v_z 与真实渗流速度 v_2 的关系为 $v_z = \varphi u_z = \varphi \frac{dz}{dt}$,即

$$dt = \frac{\varphi}{v_z} dz \quad (15)$$

将式(14)代入式(15),可以得到不同时刻对应的水脊高度值 z ,

$$\int_0^t dt = \int_0^z \frac{\varphi}{v_z} dz \quad (16)$$

$$t = \int_0^z \frac{4\varphi h \sqrt{\Phi}}{q'_{sc} K} \frac{p_{sc} T Z_{sc}}{T_{sc} Z_{sc}} \frac{\sin \frac{\pi(z+z_w)}{2h} - \sin \frac{\pi(z-z_w)}{2h}}{\sin \frac{\pi(z+z_w)}{2h} - \sin \frac{\pi(z-z_w)}{2h}} dz \quad (17)$$

当 $z=z_w$ 时,可以得到见水时间 t_b :

$$t_b = \int_0^{z_w} \frac{4\varphi h \sqrt{\Phi}}{q'_{sc} K} \frac{p_{sc} T Z_{sc}}{T_{sc} Z_{sc}} \frac{\sin \frac{\pi(z+z_w)}{2h} - \sin \frac{\pi(z-z_w)}{2h}}{\sin \frac{\pi(z+z_w)}{2h} - \sin \frac{\pi(z-z_w)}{2h}} dz \quad (18)$$

4 实例计算

某底水驱气藏的一口水平井,气层厚度 $h=100$ m,水平段长500 m,地层压力42.5 MPa,井底压力为32 MPa,气体黏度0.028 mPa·s,水平渗透率 $27.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度0.09,井筒半径0.1 m。假定气井的产量为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 定产量生产。

由图2可知,水平井产能随着水平井避水高度(z_w/h)的增加而减小。当水平井无因次避水高度小于0.3时,水平井产量递减较快,当水平井无因次避水高度大于0.3时,水平井产量递减速度减缓。

图2同时显示了地层各向异性条件下,水平井产能与无因次避水高度关系。地层为均质时,水平井产能最大;在水平渗透率一定的情况下,垂向渗透率越小(即地层各向异性比 β 越大),水平井产能越小。因此,垂向渗透率越大的地层更利于底水驱气藏水平井产能的提高。

由图3可知,水平井产量一定时,无因次避水高度不同的情况下,水脊高度均随生产时间的增加而增大,生产前期增大较缓慢,生产后期增大速度明显加快。例如:无因次避水高度为0.9(即水平井离底水90 m)时,投产2000天见水,前1500天底水近似匀速上升至距离水平井底40 m,后500天底

水迅速上升直至进入水平井。

由图4可知,随着水平井无因次避水高度增加,水平井见水时间变长。当水平井无因次避水高度小于0.4时,见水时间增大较慢,水平井无因次避水高度大于0.4时,见水时间增大较快。因此增加水平井避水高度能有效减缓底水脊进。

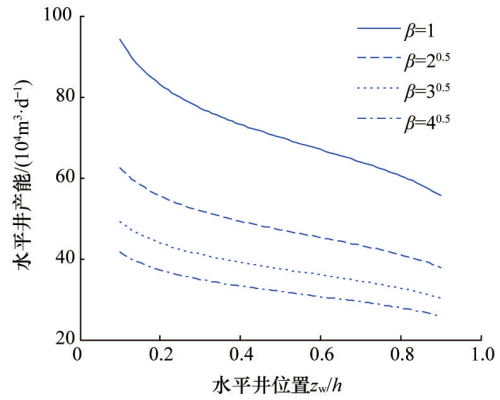


图2 水平井产能与无因次避水高度关系

Fig. 2 Relationship between horizontal well productivity and height of water avoidance

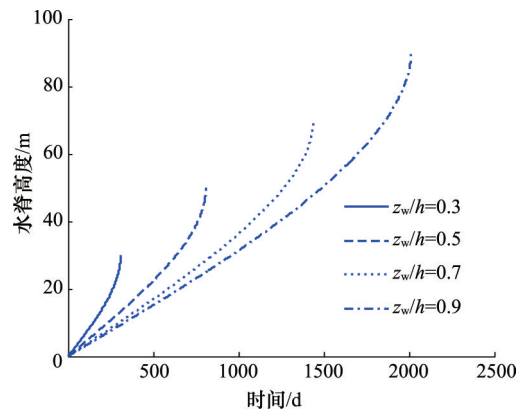


图3 水脊高度随时间变化关系

Fig. 3 Relationship between water coning height and production time

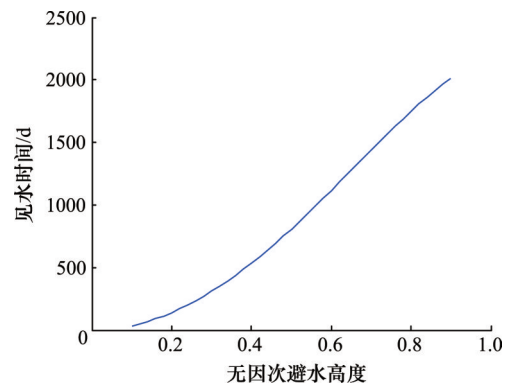


图4 水平井见水时间与无因次避水高度关系

Fig. 4 Relationship between water breakthrough time and height of water avoidance

5 结论

1) 考虑到气藏顶部的封闭边界和底部的恒压气水界面, 利用镜像反映和势的叠加原理得到底水气藏水平井势的分布, 导出考虑地层各向异性的水平井产能公式, 水平井见水时间公式和底水脊进时任意时刻水脊高度的公式。

2) 底水水平井产能受水平井位置和地层各向异性影响。减小水平井与底水的距离能增加水平井产量; 垂向渗透率越大的地层更利于底水驱气藏水平井产能的提高。

3) 水平井见水时间主要受水平井位置的影响。水平井离底水越近, 见水时间越长。投产底水先以较缓慢的速度上升, 到后期上升迅速。

参考文献 (References)

- [1] Giger F M. Analytic 2-D models of water cresting before breakthrough for horizontal wells[C]. SPE15378, Society of Petroleum Engineers, New Orleans, Louisiana, 5-8 October, 1986.
- [2] Chaperon I. Theoretical study of coning toward horizontal and vertical wells in anisotropic formations: Subcritical and critical rates[C]. SPE15377, Society of Petroleum Engineers, New Orleans, Louisiana, 5-8 October, 1986.
- [3] Ozkan E, Raghavan R. Performance of horizontal wells subject to bottom water drive[C]. SPE18545, Society of Petroleum Engineers, Charleston, West Virginia, 2-4 November, 1988.
- [4] Papatzacos P. Cone breakthrough time for horizontal wells[C]. SPE19822, Society of Petroleum Engineers, San Antonio, Texas, 8-11 October, 1991.
- [5] Yang W, Wattenbarger R A. Water coning calculations for vertical and horizontal wells[C]. SPE22931, Society of Petroleum Engineers, Dallas, Texas, 6-9 October, 1991.
- [6] Guo B, Lee R L. An exact solution to critical oil rate of horizontal wells with gas-oil interface dipping [A]. Dallas, Texas: Society of Petroleum Engineers, SPE23555, 1991.
- [7] Guo B, Lee R L. Determination of the maximum water-free production rate of a horizontal well with water-oil interface cresting[C]. SPE24324, Society of Petroleum Engineers, Casper, Wyoming, 18-21 May, 1992.
- [8] Guo B, Lee R L. A general solution of gas/water coning problem for horizontal wells[C]. SPE25050, Society of Petroleum Engineers, Cannes, France, 16-18 November, 1992.
- [9] 范子菲. 底水驱动油藏水平井产能公式研究[J]. 石油勘探与开发, 1993, 20(1): 71-75.
Fan Zifei, Study for horizontal well's productivity formula in bottom-water drive reservoir[J]. Petroleum Exploration and Development, 1993, 20(1): 71-75.
- [10] 范子菲, 林志芳. 底水驱动油藏水平井临界产量公式及其变化规律研究[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(1): 65-70.
Fan Zifei, Lin Zhifang. A study of critical rate of a horizontal well in a reservoir with bottom-water drive[J]. Petroleum Exploration and Development, 1994, 21(1): 65-70.
- [11] 范子菲, 宋文杰, 周继涛. 确定水平井水平段、垂直井射孔段最优位置方法研究[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(3): 72-75.
Fan Zifei, Song Wenjie, Zhou Jitao. A study of determining the optimal position of perforated interval in a vertical well and that of a horizontal well[J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22(3): 72-75.
- [12] 范子菲, 傅秀娟, 方宏长. 气顶底水油藏水平井锥进的油藏工程研究[J]. 大庆石油地质与开发, 1995, 14(3): 38-43.
Fan Zifei, Fu Xiujuan, Fang Hongchang. Reservoir engineering study of coning in horizontal wells in a reservoir with gas cap and bottom water drive[J]. Petroleum Geology & Oil Field Development in Daqing, 1995, 14(3): 38-43.
- [13] 范子菲, 傅秀娟. 气顶底水油藏水平井产能公式和见水时间研究[J]. 中国海上油气地质, 1995, 9(6): 46-53.
Fan Zifei, Fu Xiujuan. A study of productivity and breakthrough time of horizontal well in a reservoir with gas-cap and bottom water drive [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1995, 9(6): 46-53.
- [14] 范子菲, 方宏长, 俞国凡. 水平井水平段最优长度设计方法研究[J]. 石油学报, 1997, 18(1): 57-64.
Fan Zifei, Fang Hongchang, Yu Guofan. A study on design method of optimal horizontal wellbore length[J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(1): 57-64.
- [15] 程林松, 郎兆新, 张丽华. 底水驱油藏水平井锥进的油藏工程研究[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1994, 18(4): 43-47.
Cheng Linsong, Lang Zhaoxin, Zhang Lihua. Reservoir engineering problem of horizontal wells coning in bottom-water driven reservoir[J]. Journal of the University of Petroleum: Natural Science Edition, China, 1994, 18(4): 43-47.
- [16] 刘想平. 底水驱油藏水平井三维稳态解产能公式[J]. 石油天然气学报, 1998, 20(1): 56-60.
Liu Xiangping. A new productivity formula for 3D steady state solution of a horizontal well in a reservoir with bottom water drive[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 1998, 20(1): 56-60.
- [17] 时宇, 杨正明, 张训华, 等. 底水油藏水平井势分布及水锥研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(6): 72-75.
Shi Yu, Yang Zhengming, Zhang Xunhua, et al. Studies of the potential distribution and water coning of horizontal well in a bottom-water driven oil reservoir[J]. Petroleum Geology & Oil Field Development in Daqing, 2008, 27(6): 72-75.
- [18] 陈明, 沈燕来, 杨寨. 底水油藏水平井合理位置的确定方法研究[J]. 西南石油学院学报, 2003, 25(6): 31-34.
Chen Ming, Shen Yanlai, Yang Zhai. Method of determining optimum well location for horizontal well in bottom-water reservoir[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2003, 25(6): 31-34.
- [19] 陈满朝, 郑联勇. 底水油藏水平井水平段长度优化模型[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(5): 523-525.
Chen Manzhao, Zheng Lianyong. An optimized model of horizontal interval length in reservoir with bottom water[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2004, 25(5): 523-525.
- [20] 周金应, 万怡姝, 侯雨辰. 底水油藏水平井射孔最优水平段长度计算方法[J]. 断块油气田, 2007, 14(6): 40-43.
Zhou Jinying, Wan Yiwen, Hou Yuchen. A calculation method of horizontal perforated interval length in bottom-water reservoir[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2007, 14(6): 40-43.
- [21] 符奇, 张烈辉, 胡书勇, 等. 底水油藏水平井水平段合理位置及长度的确定[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(1): 51-55.

- Fu Qi, Zhang Liehui, Hu Shuyong, et al. Determination of optimum horizontal section location and length for horizontal wells in bottom water reservoir [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(1): 51-55.
- [22] 张烈辉, 贺伟. 裂缝性底水气藏单井水侵模型[J]. 天然气工业, 1994, 14(6): 48-50.
Zhang Liehui, He Wei. Water invasion model of individual well in fracture gas reservoir with bottom water[J]. Natural Gas Industry, 1994, 14(6): 48-50.
- [23] 冯异勇, 贺胜宁. 裂缝性底水气藏气井水侵动态研究[J]. 天然气工业, 1998, 18(3): 53-57.
Feng Yiyong, He Shengling. A research of water invasion performance of the gas wells in fractured bottom water reservoir[J]. Natural Gas Industry, 1998, 18(3): 53-57.
- [24] 谢林峰, 李相方. 底水气藏水锥高度与形状计算新方法[J]. 天然气工业, 2004, 24(4): 54-56.
Xie Linfeng, Li Xiangfang. New calculating method of highness and shape of water cone for gas pool driven by bottom water[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(4): 54-56.
- [25] 郑洪印. 底水气藏气井动态模拟研究[J]. 新疆石油地质, 1991, 12(3): 223-228.
Zheng Hongying. Simulation study of gas well performance for gas reservoir with bottom water[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1991, 12(3): 223-228.
- [26] 王会强, 李晓平, 杨琪, 等. 底水气藏见水时间预测方法[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(1): 92-93.
Wang Huiqiang, Li Xiaoping, Yang Qi, et al. A Prediction of water breakthrough time in gas reservoirs with bottom water[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(1): 92-93.
- [27] 杨进先, 李海涛, 董社霞, 等. 底水气藏水平井流入控制阀完井优化方法[J]. 钻采工艺, 2013, 36(2): 45-47.
Yang Jinxian, Li Haitao, Dong Shexia, et al. Horizontal well completion optimization with inflow control devices in bottom water drive gas reservoirs[J]. Drilling & Production Technology, 2013, 36(2): 45-47.
- [28] 杨进先. 底水气藏水平井控水技术[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012(15):143.
Yang Jinxian. The water controlling technology of horizontal well in bottom water drive gas reservoirs[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2012(15):143.
- [29] 吴克柳, 李相方, 韩易龙, 等. 底水气藏水平井临界生产压差变化规律[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(6): 630-633.
Wu Keliu, Li Xiangfang, Han Yilong, et al. Variation of critical producing pressure differential of horizontal well in gas reservoir with bottom water[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(6): 630-633.
- [30] 孔祥言. 高等渗流力学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1999.
Kong Xiangyan. Advanced theory of the flow in porous media[M]. Hefei. China University of Science and Technology Press, 1999.

(编辑 季超)

·学术动态·



中国科学技术协会

中国科协与吉林省人民政府签署共建协议

2014年3月4日,中国科协与吉林省人民政府在北京正式签订了《落实全民科学素质行动计划纲要共建协议》。中国科协常务副主席、党组书记、书记处第一书记申维辰会见吉林省委副书记、省长巴音朝鲁一行并进行座谈。签约仪式由中国科协党组成员、书记处书记徐延豪主持,中国科协党组成员、办公厅主任吴海鹰出席签约仪式。

根据协议,吉林省政府与中国科协将通过开展公民科学素质建设共建工作,落实公民科学素质建设的目标责任,建立完善监测评估和支持制度,充分调动各地各部门实现公民科学素质建设目标的积极性、主动性和责任感,使吉林省到2015年实现本辖区公民具备基本科学素质的比例超过5%,为实现国务院《关于深化科技体制改革加快国家创新体系建设的意见》所提出的有关目标任务提供有力支撑。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n10225918/15465247.html>。

更正说明

《科技导报》2014年第4/5期第34~39页刊登的赵卫等的论文“海藻纤维素气凝胶:从绿潮到新材料”中,图1引用了牛建峰、范晓蕾、潘光华等刊登在《海洋科学》2008年第8期第30~33页的论文“青岛海域大面积聚集漂浮浒苔的显微观测”的图3,张晓雯、毛玉泽、叶乃好等刊登在《中国水产科学》2008年第5期第822~829页的论文“黄海绿潮浒苔的形态学观察及分子鉴定”的图4。

由于作者疏忽,未注明所引用的参考文献,特此说明并致歉!