

延安组底水油藏水平井参数优化

石彬,陈芳萍,段景杰,席天德,米乃哲

陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院,西安 710075

摘要 水平井技术在延长油田底水油藏中的应用尚处于矿场试验阶段。目前,在该类油藏实施的几口水平井开发效果差异较大,水平井各项主要技术参数是影响其开发效果的关键。通过定量分析和评价确定水平井主要技术参数的范围及大小,可提高该类油藏水平井的开发效果。在 D4927 区块油藏地质研究基础上,应用数值模拟方法,对水平井的井网形式、水平段长度、水平段垂向位置、注水时机、配产配注、指标对比等开发参数进行模拟优化,通过考查日产量、累积产量、综合含水等主要技术指标,定量分析了优化后的效果,确定了延安组底水油藏水平井参数最优方案。

关键词 延长油田;底水油藏;水平井;数值模拟;参数优化

中图分类号 TE348

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.35.007

Parameter Optimization for the Horizontal Wells in Bottom Water Reservoirs of Yan'an Formation

SHI Bin, CHEN Fangping, DUAN Jingjie, XI Tiande, MI Naizhe

Research Institute, Shaanxi of Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an 710075, China

Abstract The applications of horizontal well technology in the bottom water reservoirs of Yanchang Oil Field are still at the stage of field test. Presently, the development effects of several horizontal wells in such reservoirs vary greatly. Various technical parameters of horizontal well are the key factors affecting the development effect. For improving the development result of the horizontal well, the range and the size of main technical parameters could be determined by quantitative analysis, many parameters for horizontal well development are optimized in terms of well pattern mode, length of horizontal section, vertical location of horizontal section, timing of water injection, rate proration between production and injection, and indicators comparison, etc. The effect is able to be expressed by the quantitative analysis of daily oil production, cumulative production, water cut, etc., and a scheme of optimal parameters is obtained by employing the numerical simulation method based on the reservoir geology study for block D4927, therefore providing a reference and basis for the high efficiency development of horizontal wells in bottom water reservoirs.

Keywords Yanchang Oil Field; bottom water reservoir; horizontal well; numerical simulation; parameter optimization

0 引言

20 世纪 80 年代以来,水平井技术在底水油藏开发中得到广泛应用,它具有油层接触面积大、储量动用程度高、产量高等优势,且能够有效减缓底水锥进,提高最终采收率^[1-4]。延长油田延安组油藏常规井开发过程中出现油井生产能力差异大、含水上快、产量递减快、采出程度低等一系列问题,在前人对该类低渗、底水油藏水平井研究和实践的基础上^[5-6],延长油田延安组油藏进入水平井开发试验阶段,第 1 口试验井达到稳产油 24t/d 的产能水平,说明水平井在该类油藏中开发效果较好,具有较好的适应性,但由于第一批几口试验井

的主要技术参数各不相同,各试验井开发效果也存在较大差异,定量评价各项主要技术参数对提高水平井开发效果十分重要。本次选定 D4927 区块,在油藏地质特征研究的基础上,通过数值模拟方法,结合油田实际油藏地质特征,从井网布局、水平段长度等方面^[7-10]定量分析评价影响水平井开发效果的各类因素,优化水平井技术参数,提出水平井实施意见,为进一步提高水平井开发效果提供理论依据。

1 延安组油藏地质特征

D4927 区块延 9 油藏顶面构造整体为东高西低、发育东

收稿日期:2012-10-25;修回日期:2012-11-15

作者简介:石彬,工程师,研究方向为石油地质开发,电子信箱:120017117@qq.com

西向鼻状隆起构造。延9储层属于曲流河充填沉积,该区以河道滞留沉积、边滩和河漫滩3种微相为主。曲流河河道砂体呈北东—南西向展布,砂体平均厚度为12m,连片性较好,但河道窄,宽度仅为800—1200m,垂直河道砂体厚度变化快。储层岩性为浅灰色中粒岩屑长石砂岩,孔隙以粒间孔和粒内溶孔为主,粒度中值平均为0.375mm,孔喉半径平均

为 $17.13\mu\text{m}$,孔隙度为8.70%—14.30%,平均为11.54%,渗透率为 $(5.56—44.27)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均为 $23.33\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。油藏受岩性和构造双重控制,主要富集在构造高部位物性较好的区域,属岩性—构造油藏(图1、图2)。该区目前以300m×300m正方形反九点井网的常规井开发为主,区内有一口水平井。

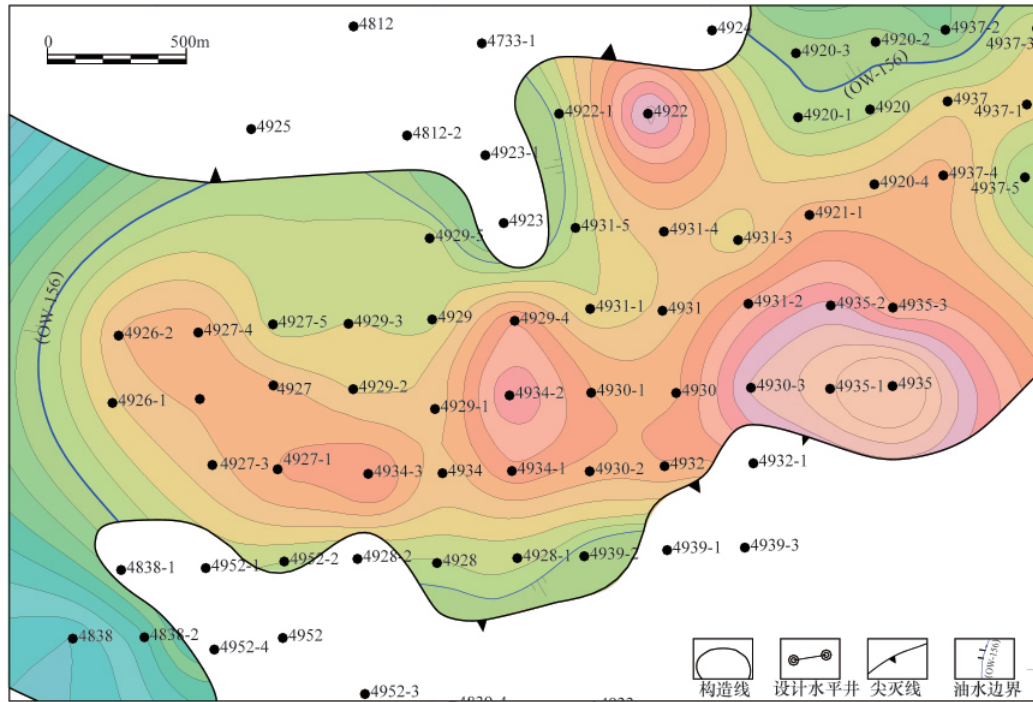


图1 D4927区块延9构造含油面积示意图

Fig. 1 Scheme of tectonic and oil-bearing area for Yan9 in D4927 block

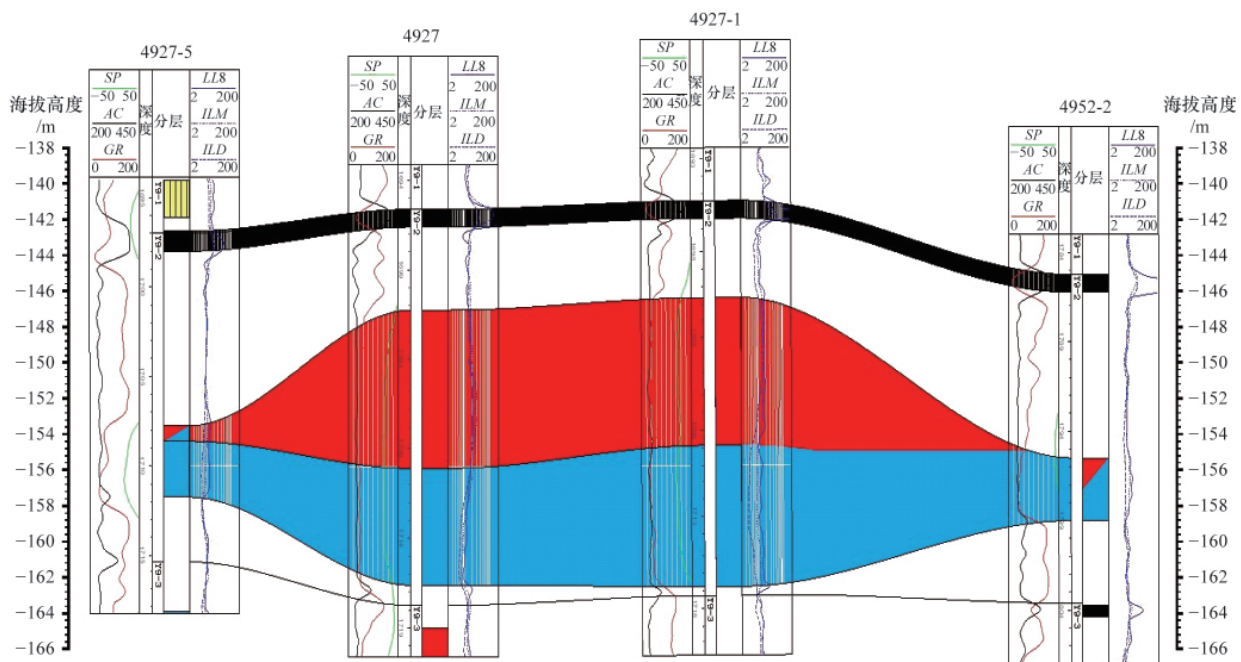


图2 延9油藏剖面

Fig. 2 Profile of Yan9 oil reservoir

2 水平井开发参数优化

在对地质模型进行粗化的基础上,根据油藏范围和储层厚度,模型在平面上采用 20m×20m 的均匀网格系统,纵向上分为 7 个,模拟总节点数为 127008。通过生产历史精细拟合修正,使其更加符合油藏实际,建立数值模拟区三维两相黑油油藏数值模拟模型。

2.1 井网形式及水平段方位优化

设计 4 种井网形式(图 3),井距均为 300m,水平段长度为 400m,水平井的平均产液量设为 20m³/d,在油藏中部弱底水区采用线状注水,注水井注水量设为 40m³/d,对不同井网形式下的开采指标进行了预测(图 4、图 5)。预测结果表明,

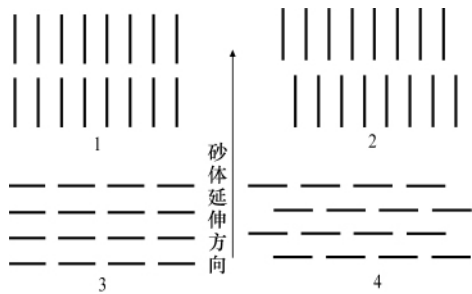


图 3 模拟的 4 种井网形式

Fig. 3 Simulation of four kinds of well networks

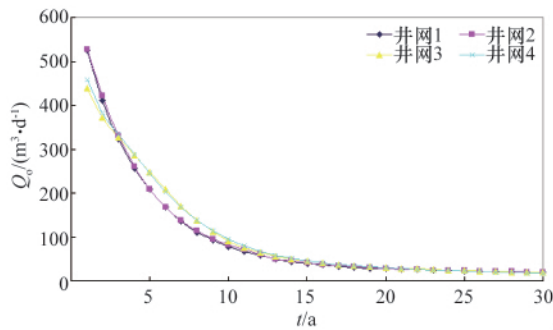


图 4 日产量 Q_o 与时间 t 关系

Fig. 4 Relationship between daily oil production and time

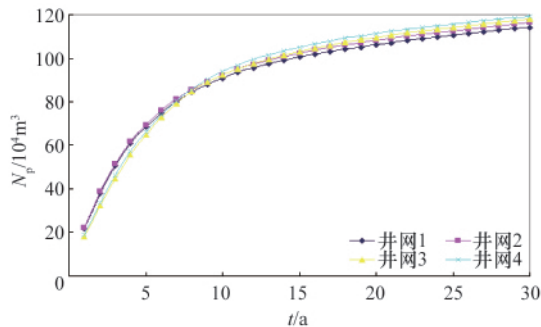


图 5 累积产油量 N_p 与时间 t 关系

Fig. 5 Relationship between cumulative production and time

井网 1 和 2 初期日产量高;而井网 3 和 4 产量递减幅度小、累积产油量高,井网 1、2、3、4 累积产油量差异较小,井网

4 累积产油量略占优势。综合考虑递减率、累积产油量和含水上升速度等指标,建议当油藏规模较大时,优先采用井网 4 (错位半个井距、垂直砂体方向)来开采该类底水油藏,但由于延长油田该类油藏大多控制油藏的鼻状构造有幅度低、延伸短、油层厚度平面稳定性差等不利因素,如果采用整体水平井网开发,钻井风险较大,因此,不建议采用整装水平井网进行开发,可采用零星钻水平井(提高单井产量)并降低生产井数的方式进行开采。

2.2 水平段长度优化

水平段长度并不是越长越好,对某一特定油藏,当水平段长度达到某一值时,产量将不再增加或增加很少。水平段过长会加大钻井难度和风险,钻井周期也随之延长,容易造成更大程度的储层污染,影响水平井开发效果。模拟水平段长度分别取 160、240、320、400、480、560、640m,利用数值模拟进行对比分析,做出单井 15 年累积产油量和生产压差与水平段长度的关系曲线(图 6)。结果表明,当水平段长度超过 400m 后,累积产油量趋于稳定。因此,确定较合理水平段长度为 400m。

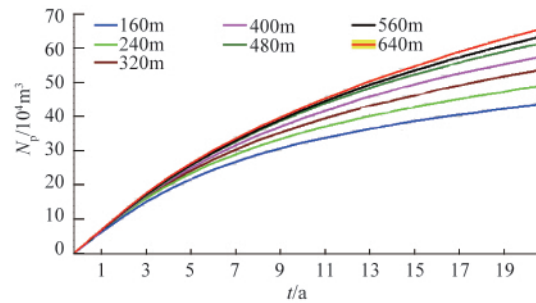


图 6 累积产油量 N_p 与时间 t 关系

Fig. 6 Relationship between cumulative production and time

2.3 垂向位置优化

模拟选定水平井产液量为 15m³/d,在油藏中部和底部(顶部储层物性一般较差)布置水平段,分别预测开采 30a 的开发指标(图 7、图 8)。预测结果表明,水平井的水平段位置越靠近油层中部偏上,开采初期油井的日产量越大,含水上升越慢,开采 30a 后,累积产油量越大,说明对于底水油藏的水平井开发,水平段位置应尽量靠近油层的中部以上层位。

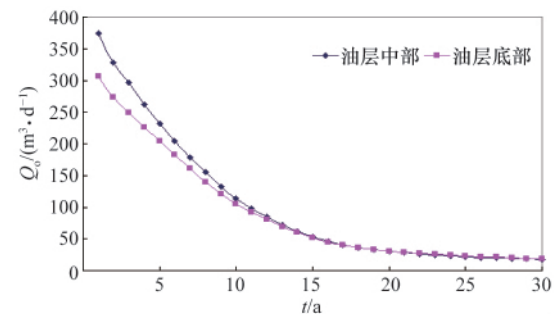


图 7 日产量 Q_o 与时间 t 关系

Fig. 7 Relationship between daily oil production and time

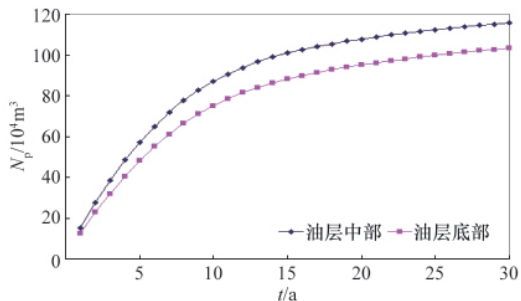


图 8 累积产油量 N_p 与时间 t 关系

Fig. 8 Relationship between cumulative production and time

2.4 产能优化

不同配产时, 含水上升速度和累积产油量有较大差异 (图 9—图 11)。当水平井日产液量 $Q_1 > 15 \text{m}^3/\text{d}$ 时, 综合含水的上升幅度逐渐变大, 但水平井日产油量及累积产油量差异越来越小; 在达到一定采出程度下, $Q_1 = 20 \text{m}^3/\text{d}$ 时其综合含水较 $Q_1 = 15 \text{m}^3/\text{d}$ 时高; $Q_1 > 20 \text{m}^3/\text{d}$ 后, 综合含水的上升幅度相对较大, 且达到一定采出程度下不同产量时, 含水率差异比较大。综合考虑区块采出程度、综合含水的上升速度以及单井的产量递减对底水油藏开发的影响, 推荐水平井的日产液量为 $15 \text{m}^3/\text{d}$ 。

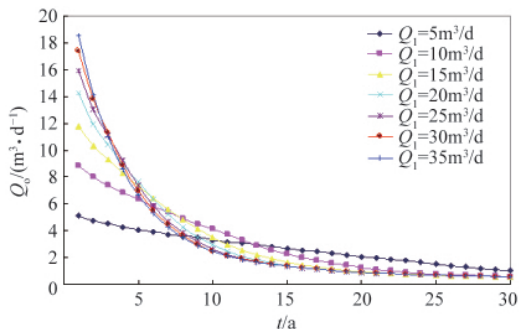


图 9 日产油量 Q_o 与时间 t 关系

Fig. 9 Relationship between daily oil production and time

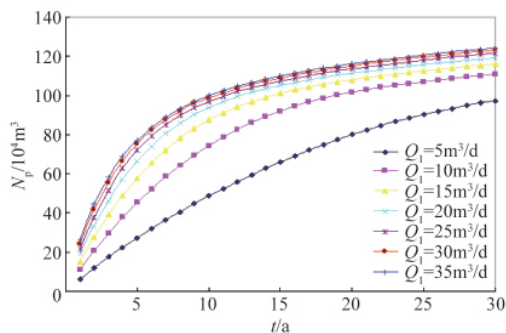


图 10 累积产油量 N_p 与时间 t 关系

Fig. 10 Relationship between cumulative oil production and time

2.5 注水时间优化

模拟选定水平井日产液量为 $15 \text{m}^3/\text{d}$, 水平段为油藏中上部, 预测不同注水时间对水平井开发效果的影响 (图 12、图

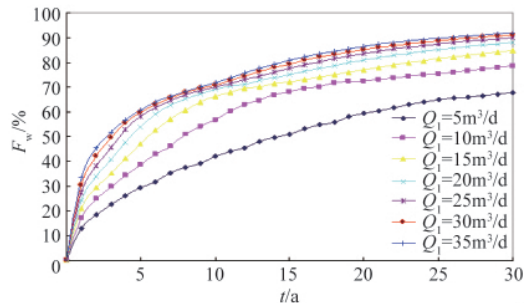


图 11 综合含水率 F_w 与时间 t 关系

Fig. 11 Relationship between water cut and time

13)。预测结果表明, 采用水平井开发该区底水油藏时, 向油藏中注水可以明显提高地层压力, 使早期油井的含水上升速度降低, 区块产量的递减幅度下降, 还可以大幅度提高底水油藏的累积产油量, 且注水时间越早效果越好。因此, 为了提高区块油藏采收率, 建议在油井投产后的 5a 内注水。

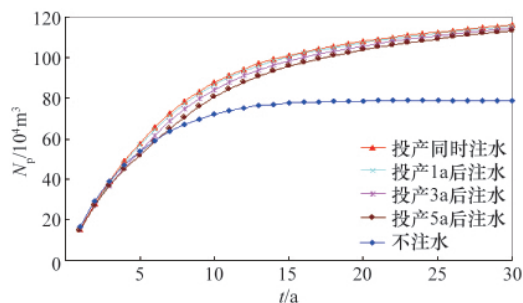


图 12 累积产油量 N_p 与时间 t 关系

Fig. 12 Relationship between cumulative production and time

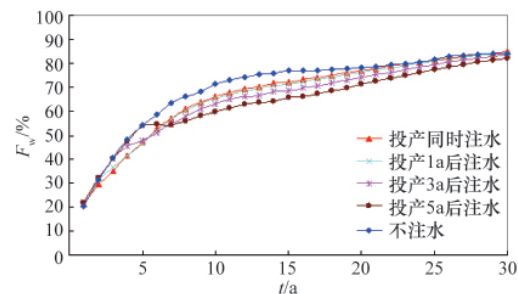


图 13 综合含水率 F_w 与时间 t 关系

Fig. 13 Relationship between water cut and time

2.6 注水强度优化

模拟选定水平井日产液量为 $15 \text{m}^3/\text{d}$, 开发油藏中上部, 且同步注水, 预测不同注水强度对水平井开发效果的影响 (图 14、图 15)。预测结果表明, 水平井日注水量越低, 地层压力的保持水平越低, 区块的日产油水平越低, 产量递减越快。开发早期 (前 8a), 日注水量越大, 油井累积产油量越大且油井的含水上升速度越慢; 开采 8a 后, 日注水量越大, 油井的含水上升速度反而越快。当日注水量大于 $40 \text{m}^3/\text{d}$ 时, 累积产油量的增幅非常小。根据预测结果, 建议单井日注水量为 $30\text{--}40 \text{m}^3/\text{d}$ 。

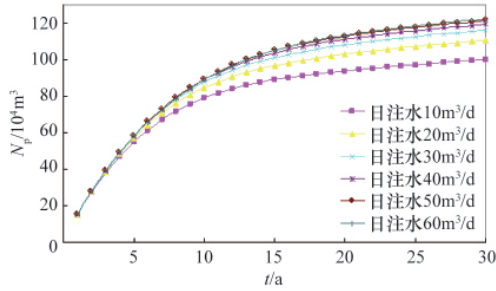


图 14 累积产油量 N_p 与时间 t 关系

Fig. 14 Relationship between cumulative production and time

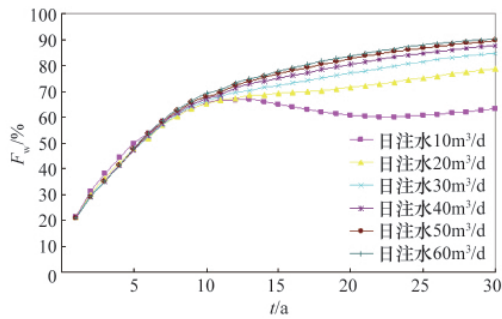


图 15 综合含水量 F_w 与时间 t 关系

Fig. 15 Relationship between water cut and time

2.7 综合优化指标预测

选用优化后的井网形式、水平段位置、水平井产量、注水时间和注水强度等参数,对现有井网、优化后不注水及优化后注水条件下的开发效果进行预测和对比(图 16、图 17)。预测和对比结果表明,与现有常规井开发效果相比,采用水平井并注水开发可以大幅度提高区块早期的日产油能力和累

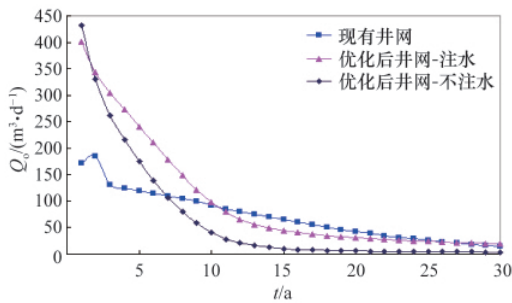


图 16 不同井网日产量 Q_o 对比

Fig. 16 Daily oil production for different patterns

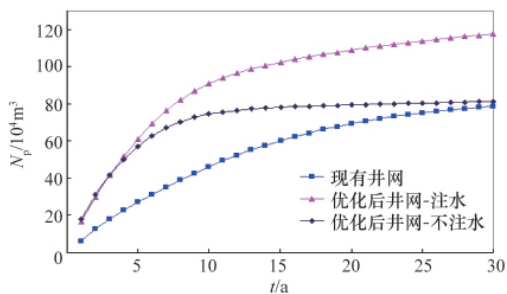


图 17 不同井网累积产油量 N_p 对比

Fig. 17 Cumulative production for different patterns

积产油量。对底水油藏而言,采用水平井开发该油藏可以使采收率提高 10.03%。

3 结论

(1) 建议在有直井控制的局部小高点或油层较厚区,采用零星部署水平井的方式进行开采,水平段走向与河道物源方向成较大夹角时为水平井最优方位。

(2) 较合理水平段长度为 400m 左右;水平段垂向位置设计在油层的中上部位时开发效果最好。

(3) 水平井产能拟控制在 $15\text{m}^3/\text{d}$ 以下,尽可能延长无水或低含水生产时间,以增加水平井累计产油量,提高最终采收率。

(4) 注水时间越早,效果越好。因此,建议水平井开采后 5a 内注水;对于底水不活跃或远离边水的油区,建议采用同步注水方式保持地层能量,维持水平井产能水平。

参考文献 (References)

- [1] 万仁溥. 中国不同类型油藏水平井开采技术[M]. 北京:石油工业出版社, 1997.
Wan Renpu. The recovery technology in horizontal wells for different reservoirs in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.
- [2] 秦雪辉. 水平井技术在边底水油藏中的应用[J]. 内江科技, 2008, 29(6): 89.
Qin Xuehui. *Neijiang Keji*, 2008, 29(6): 89.
- [3] 王家宏. 中国水平井应用实例分析[M]. 北京:石油工业出版社, 2003.
Wang Jiahong. Analysis on application examples of horizontal wells in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [4] 万仁溥. 水平井开采技术[M]. 北京:石油工业出版社, 1995.
Wan Renpu. Recovery technology in horizontal wells [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.
- [5] 王书礼, 李伯虎. 低渗透油藏水平井开发设计[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(1): 23-24.
Wang Shuli, Li Bohu. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2001, 20(1): 23-24.
- [6] 李东霞, 苏玉亮, 孙瑞艳, 等. 低渗透底水油藏产能计算及其影响因素[J]. 大庆石油地质与开发, 2010, 29(5): 68-72.
Li Dongxia, Su Yuliang, Sun Ruiyan, et al. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2010, 29(5): 68-72.
- [7] 王振彪. 水平井地质优化设计[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(6): 78-80.
Wang Zhenbiao. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(6): 78-80.
- [8] 凌宗发, 胡永乐, 李保柱, 等. 水平井注采井网优化 [J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(1): 65-72.
Ling Zongfa, Hu Yongle, Li Baozhu, et al. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(1): 65-72.
- [9] 曾晓晶, 同登科. 水平井水平段最优长度设计方法改进[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(2): 216-220.
Zeng Xiaojing, Tong Dengke. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(2): 216-220.
- [10] 杜殿发, 石达友, 张玉晓, 等. 超稠油油藏水平井开发优化设计[J]. 大庆石油地质与开发, 2009, 28(6): 96-99.
Du Dianfa, Shi Dayou, Zhang Yuxiao, et al. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2009, 28(6): 96-99.

(责任编辑 张玉肖)