

南堡陆地油田水平井开发底水油藏油水运动规律

王群一¹, 毕永斌¹, 张梅¹, 岳湘安², 修德艳¹

(1. 中国石油冀东油田分公司 勘探开发研究院, 河北 唐山 063004;

2. 中国石油大学(北京) 石油工程教育部重点实验室, 北京 102249)

摘要: 随着水平井开发的不断深入, 地层水沿优势通道窜流, 导致水平井含水率快速上升, 产量大幅递减, 同时对高含水后剩余油分布认识不清, 严重影响了水平井的开发效益。以南堡陆地油田底水油藏为例, 综合运用物理模拟、数值模拟方法与找水资料, 分析储层物性、水平井不同狗腿位置及不同开发技术政策对含水率的影响, 开展了水平井开发底水油藏油水运动规律研究; 引入了底水出水准数的概念, 揭示了不同类型水平井在均质和非均质底水油藏中的油水运动规律。对于均质油藏, 标准水平井出水部位易出现在水平井跟端, 有狗腿的水平井狗腿处是底水锥进的主要部位, 而无狗腿处成为剩余油富集的主要部位; 对于非均质油藏, 底水易在高渗透率区锥进, 而低渗透区则易成为剩余油富集区。

关键词: 底水油藏 水平井 油水运动 底水出水准数 南堡陆地油田

中图分类号: TE34

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2012)06-0091-04

水平井技术作为提高采收率、降低开发成本的有效途径, 成为克服“多井低产”的有效方式之一, 是油田提高单井产量和开发效益的一项重要技术^[1-4]。但是随着水平井开发的不断深入, 逐步暴露出含水率上升速度快、产量递减大、对高含水后剩余油分布规律认识不清等问题, 严重影响了水平井的开发效益。南堡陆地以底水油藏为主是中国水平井开发油藏的典型代表之一, 笔者综合运用物理模拟、数值模拟方法与找水资料, 对研究区水平井开发底水油藏的油水运动规律进行研究, 揭示了底水油藏水平井的油水运动规律及主控因素, 以期为水平井开发部署及高含水阶段挖潜措施的制定提供依据。

1 水平井实施概况

南堡陆地油田受断层控制, 油气藏类型主要为复式油气藏, “十五”初期, 为解决产量低、采收率低、成本高3大问题, 确立了以精细油藏描述和水平井开发为主导, 实现油田快速上产的工作思路^[5]。在大力加强油藏精细描述的基础上, 通过应用与推广水平井、侧钻水平井技术, 实现高速开发和快速上产^[6]。虽然水平井较好地解决了定向井出砂严重、部分难采储量有效动用的问题, 但其采油速度

高、含水率上升快、堵水技术不成熟, 导致产量递减较快^[7]。

2 底水出水准数概念的提出

水平井开采受多种因素综合影响, 各因素之间具有交叉和叠加性, 很难以其中的任何一个单因素来研究水平井出水规律^[8-13]。因此, 提出了底水出水准数的概念, 该参数能够反映水平井出水规律和出水部位等诸多因素, 其定义为整个水平井的水驱前缘平均突破时间与水平井各点的水驱前缘突破时间之比, 即

$$T_w = \frac{\bar{t}}{t_i} = \frac{R_k R_p}{R_\phi R_h} \quad (1)$$

其中

$$R_k = \frac{K_i}{K} \quad (2)$$

$$R_p = \frac{\Delta p_i}{\Delta p} \quad (3)$$

$$R_\phi = \frac{\phi_i}{\phi} \quad (4)$$

$$R_h = \frac{h_i}{h} \quad (5)$$

$$\Delta p_i = p_{\text{底水}} - p_i \quad (6)$$

收稿日期: 2012-09-12。

作者简介: 王群一, 女, 高级工程师, 从事油藏工程研究。联系电话: (0315)8766365, E-mail: wangqunyi@petrochina.com.cn。

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司重大科技项目“高含水油田提高采收率关键技术”(2008B-08)。

$$\overline{\Delta p} = \Delta p_{\text{底水}} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \quad (7)$$

式中： T_w 为底水出水准数； \bar{t} 为整个水平井的水驱前缘平均突破时间，h； t_i 为水平井各点的水驱前缘突破时间，h； i 为水平井测试任一点， $i=1,2,3,\dots,n$ ； R_k 为渗透率分布系数； R_p 为压力梯度分布系数； R_ϕ 为孔隙度分布系数； R_h 为水平井轨迹系数； K_i 为水平井各点的渗透率， $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ； \bar{K} 为整个水平井的平均渗透率， $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ； Δp_i 为底水至水平井各点的压差，MPa； $\overline{\Delta p}$ 为底水至水平井各点的平均压差，MPa； h_i 为底水至水平井各点的油层厚度，cm； \bar{h} 为底水至水平井各点的平均油层厚度，cm； ϕ_i 为水平井各点的孔隙度，%； $\bar{\phi}$ 为水平井的平均孔隙度，%； $p_{\text{底水}}$ 为水平井所在油层底水压力，MPa； p_i 为水平井各点压力，MPa； n 为水平井测试点总数。

底水出水准数在水平井方向上分布越均匀，开采过程中水驱前缘推进也越均匀，越不容易形成底水锥进，波及效率越高；反之，易在底水出水准数最大处发生水窜，含水率急剧上升，出现暴性水淹。

3 均质油藏水平井油水运动规律

3.1 物理模拟

标准水平井 由均质油藏标准水平井含水率和底水出水准数分布(图1)可以看出，底水驱至含水率接近100%时，跟端至趾端的平均底水出水准数为1.704,0.970,0.642,0.682；底水出水准数和含水率在水平井跟端值最高，表明均质油藏标准水平井在开采过程中，跟端易底水锥进。高59-平8井找水资料显示，该井水平段跟端2 471~2 519 m处产液量占全井产液量的56.2%，是出水的主要部位。

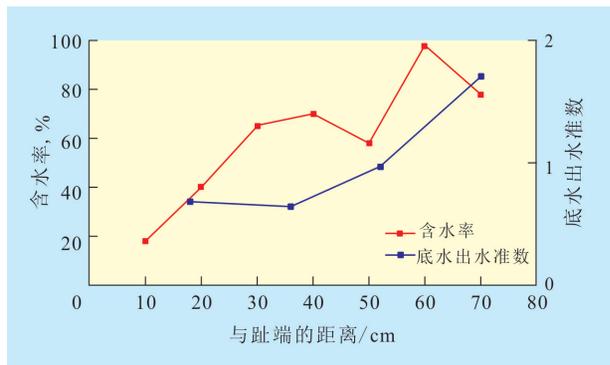


图1 均质油藏标准水平井含水率和底水出水准数分布

水平井不同狗腿位置 由水平井不同狗腿位置处含水率和底水出水准数分布(图2)可以看出，开采至含水率接近100%时，底水出水准数在狗腿

位置值最高，表现为狗腿处更容易底水锥进。狗腿位于跟端和中部时，含水率与底水出水准数变化规律一致，均是狗腿处远高于其他各段，表现为狗腿处更易出水和水淹；狗腿位于趾端时，含水率与底水出水准数规律有所不同，含水率为中部高于其他各段，该情况下水平井在开采过程中中部及趾部为出水的主要部位。

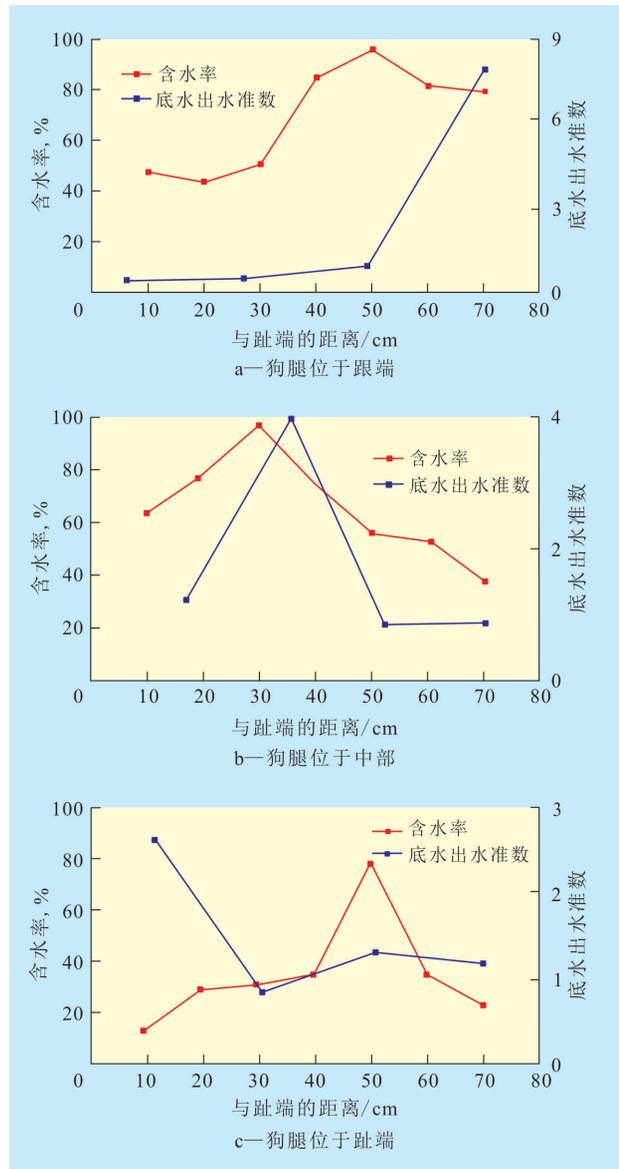


图2 水平井不同狗腿位置含水率和底水出水准数分布

3.2 数值模拟

底水油藏水平井开发剩余油分布数值模拟研究表明，水平井在油层顶部时，底水上升较慢，地层水锥进的趋势不明显，波及体积较大，开发效果好；水平井在油层底部时，由于水平井与油水边界的距离较近，底水锥进严重，生产效果较差，剩余油在油层中上部富集。该规律与物理模拟结果一致，均为油水界面附近易水淹。

3.3 找水资料

南堡陆地油田底水油藏找水资料分析表明,对于不同狗腿位置的水平井,狗腿处易成为产液的主要位置,底水易锥进,造成全井含水率快速上升。

高104-5平35井为底水油藏水平井,产液部位集中在距油水界面较近的狗腿部位,该部位底水锥进导致含水率快速上升,全井含水率高。2008年8月根据找水资料对该段进行化学堵水,生产效果明显改善,含水率有所下降,累积增油量为850 t。

4 非均质油藏水平井油水运动规律

4.1 物理模拟

由非均质油藏水平井跟端高渗透时底水出水准数和含水率分布(图3)可知,开采至含水率接近100%时,均是高渗透率的跟端底水出水准数和含水

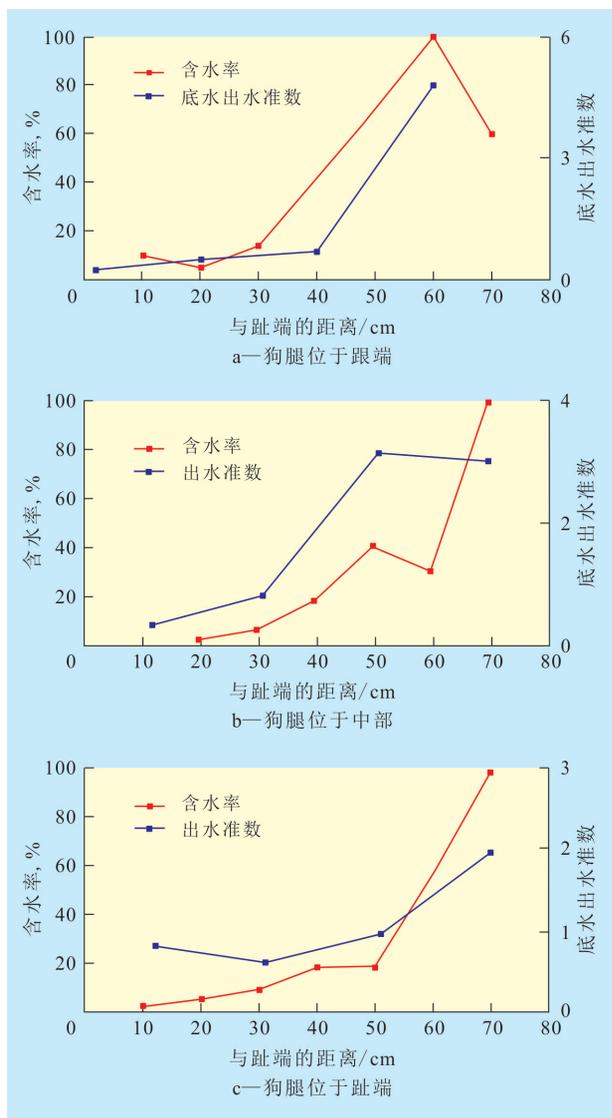


图3 非均质油藏水平井跟端高渗透时底水出水准数和含水率分布

率最高,是出水的主要部位;其次狗腿位置的底水出水准数也略高,易出现底水锥进。

由非均质油藏水平井趾端高渗透时,标准水平井和狗腿在趾端时的含水率和底水出水准数分布(图4)可以看出,趾端底水出水准数远高于其他各点,含水率和底水出水准数都是趾端最高。对于非均质油藏,渗透率是影响油水运动规律的主要因素,底水主要由水平井的高渗透段锥进;其次,水平井狗腿位置对油水运动规律也有一定影响,狗腿处底水锥进的几率较高。

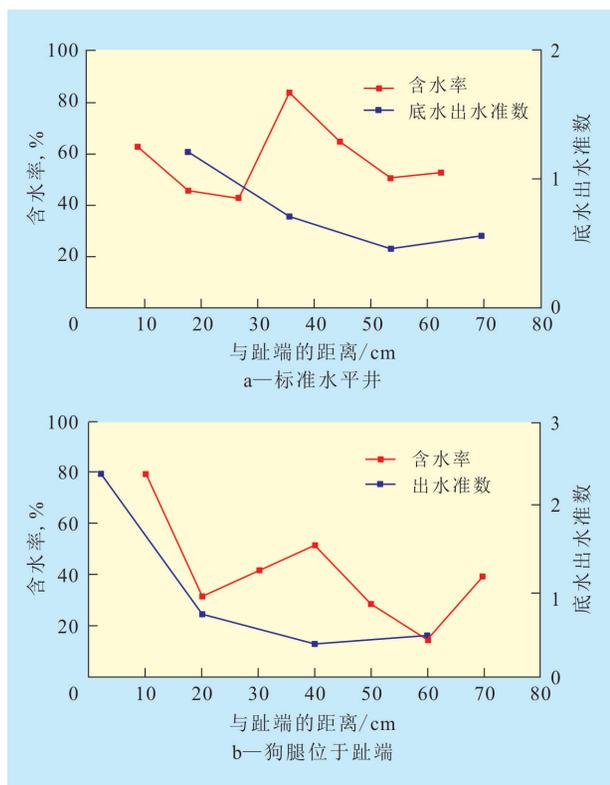


图4 非均质油藏水平井趾端高渗透时含水率和底水出水准数分布

4.2 数值模拟

数值模拟采用变异系数作为衡量油藏非均质性的标准,对不同层间变异系数时油藏剩余油分布进行模拟,结果表明,对于底水油藏,非均质性越强,水线沿高渗透带锥进的几率越大,剩余油零星分布在低渗透带。

4.3 找水资料

找水资料分析表明,由于油层的渗透性非均质性严重,底水首先从高渗透率区进入油井。如高104-5平27井位于高浅北区Ng8油藏,该油藏顶部渗透率低,底部渗透率高。水平井跟端处于油层顶部,产液少;趾端处于油层中下部,为主要产液段,是出水主要部位,导致全井水淹,生产效果较差。

5 结论

水平井底水出水准数包含影响水平井出水规律和出水部位的诸多因素,能够准确地判识水平井的出水部位。水平井的狗腿位置很大程度上影响了均质油藏的油水运动规律及生产效果,对非均质油藏影响较小;对于均质油藏,标准水平井出水部位易出现在水平井跟端;有狗腿的水平井狗腿处是底水锥进的主要部位,而无狗腿处往往成为剩余油富集的主要部位;对于非均质油藏,底水易从高渗透率区形成锥进,而低渗透率区易成为剩余油富集区,是下步挖潜的主要方向。

参考文献:

- [1] 王家宏.中国水平井应用实例分析[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [2] 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,1998.
- [3] 杨勇,王洪宝,牛栓文,等.东辛地区不同类型油藏水平井优化设计[J].油气地质与采收率,2010,17(2):80-82,86.

- [4] 刘均荣,姚军,张凯.智能井技术现状与展望[J].油气地质与采收率,2007,14(6):107-110.
- [5] 周海民,常学军,廖保方,等.复杂断块油田精细开发——渤海湾盆地南堡凹陷精细开发实践与认识[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [6] 周海民,常学军,郝建明,等.冀东油田复杂断块油藏水平井开发技术与实践[J].石油勘探与开发,2006,23(5):107-114.
- [7] 廉黎明,姜汉桥,牛佳玲,等.水平井注采井网多目标优化方法[J].油气地质与采收率,2012,19(1):85-90.
- [8] 刘振宇,程博,刘洋,等.水平井开发研究——底水油藏的水脊变化及见水时间预测[J].大庆石油学院学报,2002,26(4):100-103.
- [9] 程林松,张健琦,李春兰.底水油藏水平井开发见水后生产动态预测[J].西南石油学院学报,2002,24(2):12-14.
- [10] 刘昌贵,孙雷,李士伦,等.多相渗流的几种数学模型及相互关系[J].西南石油学院学报,2002,24(1):64-66.
- [11] 郝建明,吴健,张宏伟.应用水平井资料开展精细油藏建模及剩余油分布研究[J].石油勘探与开发,2009,36(6):730-736.
- [12] 靳彦欣,林承焰,贺晓燕,等.油藏数值模拟在剩余油预测中的不确定性分析[J].石油大学学报:自然科学版,2004,28(3):22-29.
- [13] 司大志.底水油藏水平井开发优化设计[J].油气地质与采收率,2010,17(1):93-95.

编辑 武云云

(上接第90页)

- [2] 高春光,王晓冬,刘和甫,等.底水驱油藏单管采水抑锥射孔方案优化[J].油气地质与采收率,2006,13(1):71-73.
- [3] 周生田,马德泉,刘民.射孔水平井孔眼分布优化研究[J].石油大学学报:自然科学版,2002,26(3):52-54.
- [4] 孟红霞,陈德春,海会荣,等.水平井分段射孔完井方案优化[J].油气地质与采收率,2007,14(5):84-87.
- [5] 汪志明,魏建光,王小秋.水平井射孔参数分段组合优化模型[J].石油勘探与开发,2008,35(6):725-730.
- [6] 刘冰,徐兴平,李继志,等.基于序列二次规划算法的射孔水平井孔眼分布优化[J].中国石油大学学报:自然科学版,2010,34(4):79-83,88.
- [7] 蒋贝贝,李海涛,袁锦亮,等.底水油藏水平井射孔密度优化[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2010,32(6):284-287.
- [8] 虞建业,沈飞,顾庆宏,等.水平井射孔参数对压裂起裂压力的影响[J].油气地质与采收率,2011,18(1):105-107,110.
- [9] Gringarten A C, Ramey JR H J.The use of source and green's functions in solving unsteady-flow problems in reservoirs [J]. So-

ciety of Petroleum Engineers Journal, 1973, 13(5):285-296.

- [10] Furui K, Zhu D, Hill A D.A new skin-factor model for perforated horizontal wells [J].SPE Drilling & Completion, 2008, 23(3):205-215.
- [11] Furui K, Zhu D, Hill A D.A rigorous formation damage skin factor and reservoir inflow model for a horizontal well [J].SPE Production & Operations, 2003, 18(3):151-157.
- [12] Sheng J J.Formulation of the flow problem in anisotropic porous media using different coordinate transformations [J].Journal of Petroleum Science and Engineering, 2010, 75(1/2):203-208.
- [13] Ouyang L, Arbabi S, Aziz K.General wellbore flow model for horizontal, vertical, and slanted well completions [J]. SPE Journal, 1998, 3(2):124-133.
- [14] White F M.Fluid mechanics [M].New York: McGraw-Hill Book Company, 1986.

编辑 常迎梅