

The Application of DWL Technology in Heavy Oil Reservoirs with Bottom Water

Bin He, Yancheng Liu, Zhongbo Xu, Guosong Lin, Jie Tan

Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin
Email: hebin2@cnooc.com.cn

Received: Jan. 12th, 2019; accepted: Mar. 15th, 2019; published: Oct. 15th, 2019

Abstract

Bottom water coning seriously affected the development effect of bottom water heavy oil reservoir. DWL (Double-layer Completion Discharge Hydraulic Coning Technology) could effectively control of bottom water coning. On the basis of the theoretical assumptions of this technique, Darcy's law was introduced, rational oil well yield and drainage rate were derived. At the same time, CMG numerical simulation software was used for analyzing its mechanism model. The results show that dual completion technology has obvious row of stabilizing oil production and controlling water capacity. The study provides reference value for high-efficiency development of offshore heavy oil reservoirs with bottom water.

Keywords

Heavy Oil Reservoir with Bottom Water, Bottom Water Coning, Double-layer Completion Discharge Hydraulic Cone Technology, Stabilizing Oil and Water Control

DWL技术在海上底水稠油油藏中的研究

何 滨, 刘彦成, 徐中波, 林国松, 谭 捷

中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津

作者简介: 何滨(1987-), 女, 工程师, 现从事海上油气田开发方面的研究。

Email: hebin2@cnooc.com.cn

收稿日期: 2019年1月12日; 录用日期: 2019年3月15日; 发布日期: 2019年10月15日

摘 要

底水锥进严重影响底水稠油油藏开发效果。双层完井排液压锥(DWL)技术能够有效控制底水锥进。笔者在该技术的理论假设基础上引入达西定律, 推导出了合理油井产量和排水量。应用CMG数模软件对其机理模型进行分析, 结果表明DWL技术具有显著的稳油控水能力。该研究对海上底水稠油油藏的高效开发具有一定的参考价值。

关键词

底水稠油油藏, 底水锥进, 双层完井排液压锥技术, 稳油控水

Copyright © 2019 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

渤海油田底水稠油油井射开的油层位置普遍较高, 油井产量低于经济极限产量, 油井产生底水锥进现象, 造成油井含水率过高[1] [2] [3]。双层完井排液压锥(DWL)技术是一种能有效地控制底水锥进的方法[4]。理论研究和矿场实践都表明 DWS 技术可以有效降低含水率, 提高油井产量。

2. 理论研究

为了研究 DWL 控水模型理论, 引入达西平面径向稳定渗流理论。达西定律的边界条件如下:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dp}{dr} \right) = 0 \quad (1)$$

$$p(r) \Big|_{r=r_e} = p_e \quad (2)$$

$$p(r) \Big|_{r=r_w} = p_w \quad (3)$$

求解方程(1), 得:

$$\frac{dp}{dr} = \frac{\Delta p}{\ln \frac{r_e}{r_w}} \frac{1}{r} \quad (4)$$

$$\Delta p = p_e - p_w \quad (5)$$

式中: Δp 为生产压差, MPa; r 为流动方向的距离, m; $\frac{dp}{dr}$ 为流动方向的压力梯度, MPa/m; p_e 为地层压力, MPa; p_w 为井底流压, MPa; r_e 为油层的半径, m; r_w 为油井的半径, m。

结合达西定律与式(4)得到的关系式:

$$\Delta p = \frac{QB\mu \ln \frac{r_e}{r_w}}{0.1728\pi KH} \quad (6)$$

式中: Q 为产液量, m^3/d ; B 为流体的体积系数, m^3/m^3 ; μ 为液体黏度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$; K 为地层的渗透率, mD ; H 为储层的厚度, m。

毛细管压力和流度比的关系式:

$$\Delta p_c = H(\rho_w - \rho_o)g \times 10^{-3} \quad (7)$$

式中: Δp_c 为毛细管压力, MPa; ρ_w 为水相密度, g/cm^3 ; ρ_o 为油相密度, g/cm^3 ; g 为重力加速度, $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ 。

$$M = \frac{K_w \mu_o}{K_o \mu_w} \quad (8)$$

式中: M 为量纲一流度比, 1; K_w 为水层的渗透率, mD ; K_o 为油层的渗透率, mD ; μ_w 为水相黏度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$; μ_o 为油相黏度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。

DWL 技术中水相回注射孔段时, 做无量纲化处理:

$$D_{di} = \frac{H_{wd}}{H_{wd} + H_{di}} \quad (9)$$

式中: D_{di} 为无量纲化因子, 1; H_{wd} 为水层排水射孔段到 OWC 的距离, m; H_{di} 为 D/I 距离, m。

将式(6)、(7)、(8)、(9)代入压力平衡关系式 $\Delta p_{op} + \Delta p_{c wd} + \Delta p_{wi} = \Delta p_{cop} + \Delta p_{wd} + \Delta p_{c wi}$ 中, 得到油井临界产量和临界排注比:

$$Q_{opc} = \frac{Q_{wd} B_w h_o}{M B_o h_w} (1 - D_{di}) + \frac{0.1728 K_o h_o g (\rho_w - \rho_o)}{B_o \mu_o \ln \frac{r_e}{r_w}} (H_{op} - H_{wd} - H_{wd} D_{di}) \quad (10)$$

式中: Δp_{op} 为油井生产时在采油射孔段上所产生的向上的平衡压力, MPa; $\Delta p_{c wd}$ 为油井生产时在排水射孔段在排水时所产生的向上的毛管压力, MPa; Δp_{wi} 为油井生产时在底水回注射孔段所产生的向上的平衡压力, MPa; Δp_{cop} 为油井生产时在采油射孔段所产生的向下的毛管压力, MPa; Δp_{wd} 为油井生产时在水层射孔段排水处所产生的向下的压力, MPa; $\Delta p_{c wi}$ 为油井生产时在水层注入射孔段所产生的向下的毛管压力, MPa; Q_{opc} 为油层的临界产量(底水不发生锥进的最大日产油量), m^3/d ; Q_{wd} 为水层排水量, m^3 ; H_{op} 为油层排水射孔段到 OWC 的距离, m; B_w 为水相的体积系数, m^3/m^3 ; B_o 为油相的体积系数, m^3/m^3 。

$$Q_{wdc} = \frac{Q_{op} M B_o h_w}{M B_w h_o} \left(\frac{1}{1 - D_{di}} \right) + \frac{0.1728 K_w h_w g (\rho_w - \rho_o)}{B_w \mu_w \ln \frac{r_e}{r_w}} \left(\frac{H_{wd} - H_{op} - H_{wd} D_{di}}{1 - D_{di}} \right) \quad (11)$$

式中: Q_{wdc} 为水层的临界排水量(油层不发生下窜到水层的最大排液量), m^3/d ; Q_{op} 为油层的产油量, m^3/d 。

通过理论研究表明, DWL 技术在不削弱地层能量的前提下, 较好地实现了底水控制。

3. 数值模拟研究

CMG-STARS 数值模拟软件, 建立均值底水稠油油藏机理模型。结果表明, DWL 技术可明显增加底水稠油油藏的储量动用程度, 降低储层剩余油饱和度(图 1), 增加油井产量, 显著提高稠油油藏的开发效果。

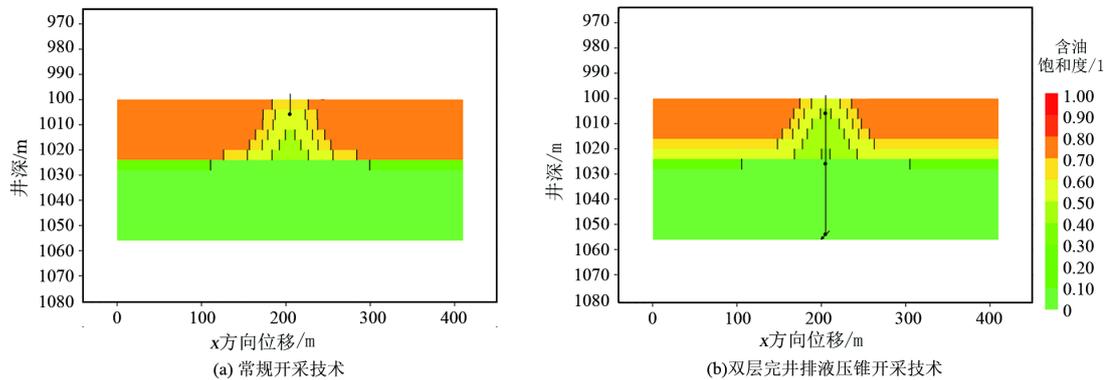


Figure 1. The change of oil saturation of different development methods

图 1. 不同开采方式下的含油饱和度变化图

4. 实例计算

渤海油田砂岩底水油藏某油井的有关参数如下:

油层厚度为 18 m, 水层厚度为 50 m, 地层原油黏度为 430 mPa·s, 地层渗透率为 $3.5 \mu\text{m}^2$, 日产油量为 $20 \text{ m}^3/\text{d}$, 油层避射为 8 m, 水层射孔段距离油水界面为 12 m, 原油体积系数为 $1.05 \text{ m}^3/\text{m}^3$, 地层受效半径 350 m, 井筒半径为 0.1 m。根据式(11)得到水层的临界排水量为 $583 \text{ m}^3/\text{d}$ 。有效缓解了底水锥进, 延长了无水采油期和低含水期。

5. 结论

DWL 技术能有效控制底水锥进速度, 减少海上平台水处理成本, 改善油田开发效果, 对高效开发海上底水稠油油藏具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 赵力国, 顾小勇. 双层完井, 油水同时分采抑制底水锥进[J]. 油气采收率技术, 1999, 2(6): 76-77.
- [2] 范凤英. 化学凝胶隔板阻断底水锥进矿场试验[J]. 钻采工艺, 2003, 26(4): 86-89.
- [3] 陈凯, 赵福麟. 陆梁油田薄层底水油藏控制水锥技术研究[J]. 石油学报, 2006, 27(6): 75-78.
- [4] 李传亮. 底水油藏的压锥效果分析[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(5): 45-47.

[编辑] 帅群