

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2021.03.008

大倾角厚层轻质油油藏含水上升 规律及挖潜措施研究

王永平, 朱志强, 房娜, 陈晖, 孟智强

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459)

摘要:受海上工程及经济因素限制, 海上油田厚层油藏多采用定向井多层合注合采的模式开发, 但受储层纵向非均质性的影响, 油田开发表现出油井见水规律复杂, 产量递减快, 但受井斜、生产管柱及测试成本等因素制约, 油井见水后治理难度大。大倾角厚层轻质油油藏受重力作用影响显著, 因此为明确该类型油藏的见水规律并明确油井见水后的挖潜措施, 精准实施有效的油水井措施, 改善油田开发效果, 提高经济效益, 通过将考虑重力作用的剖面压力均等模型并结合渤海轻质油油田孔渗分布关系, 建立一种标准油藏含水上升规律曲线。应用该曲线可有效地指导油井堵水、提液等措施的实施且效果显著, 对类似油田油井的治理值得推广。

关键词:大倾角; 厚层; 轻质油; 见水规律; 挖潜措施

中图分类号: TE 33

文献标志码: A

文章编号: 2095-0411(2021)03-0060-05

Research on the Rising Law of Water Cut in Large Inclination Light Oil Reservoir and Its Excavation Measures

WANG Yongping, ZHU Zhiqiang, FANG Na, CHEN Hui, MENG Zhiqiang

(Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300459, China)

Abstract: Due to the limitation of offshore engineering and economic factors, the thick reservoirs of offshore oil fields are mostly developed using the multi-layer injection and produce in directional wells. However, due to the longitudinal heterogeneity of the reservoirs, the oilfield development shows that the oil wells are complex and the output decreases rapidly. However, due to factors such as production pipe string and test cost, it is difficult to treat oil wells after water breakthrough. The light oil reservoirs with large inclinations are significantly affected by gravity. Therefore, in order to clarify the law of water exposure in this type of reservoir and clarify the excavation measures after the oil wells water

收稿日期: 2020-10-26。

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2016ZX05058001)。

作者简介: 王永平(1989—), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士, 工程师。E-mail: wangyp50@cnooc.com.cn

引用本文: 王永平, 朱志强, 房娜, 等. 大倾角厚层轻质油油藏含水上升规律及挖潜措施研究[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2021, 33(3): 60-64.

breakthrough, effective measures for oil wells are precisely implemented, and the results of oil field development are improved and economic benefits are improved. In this paper, a regular curve of rising water content in standard oil reservoirs is established by considering the equalizing model of gravity and combining with the porosity distribution in Bohai Lightweight Oil Oilfield. The application of this curve can effectively guide the implementation of the measures such as water plugging and lifting fluid in oil well, and it is worth popularizing and applying to similar oil well management.

Key words: large inclination; thick layer; light oil; see the law of water; excavation measure

渤海 X 油田地层倾角大 25° , 平均储层厚度 57 m, 中孔中渗储层, 地层原油密度 0.718 g/cm^3 , 地层原油黏度 $1.28 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 为典型的大倾角厚层轻质油油藏, 重力对油田开发影响显著。油田开发初期采油速度快但采油井及注水井均大段合注合采, 导致采油井含水上升快、油田递减大、但受制于油井管柱、井斜及施工资源等因素的制约, 不能进行产液剖面和卡堵水等测试及措施的实施, 对油田开发规律的认识及开发效果的好坏影响日益突出。海上油田作业费用高, 如何有效判断油井含水上升规律, 精准实施有效的增产措施, 改善油田开发效果, 提高经济效益, 需要准确认识油藏的见水规律。本文建立了一种考虑重力作用的标准油藏含水上升规律曲线, 有效地采取油井见水后的措施。

1 重力作用对大倾角厚层油藏含水上升规律的影响

利用重力的分流量方程^[1-4]式(1)可计算油井的含水率。

$$f_w = \frac{q_w}{q_w + q_o} = \frac{1 + \frac{k k_{ro}}{v_i \mu_o} \left(\frac{\partial p_c}{\partial L} - \Delta \rho g \sin \alpha \right)}{1 + \frac{\mu_w k_{ro}}{\mu_o k_{rw}}} \quad (1)$$

式中: f_w 为含水率; $\Delta \rho$ 为水、油密度差; μ_w, μ_o 为水、油的黏度; k_{rw}, k_{ro} 为水相、油相相对渗透率; α 为模型倾角。

计算不同倾角、产量、渗透率、原油黏度时重力对大倾角厚层油藏含水上升规律的影响, 用位于水流下方井的含水率与位于水流上方井的含水率的比值表示重力对油藏含水上升的影响大小, 如图 1~图 4 所示。

从图 1~图 4 可以看出, 当存在地层倾角时, 倾角越大、产量越高、渗透率越高, 原油黏度越小, 含水率比值越大, 重力作用对油藏含水规律的影响越大。对于本文研究的中渗大倾角厚层轻质油油藏必须考虑重力对油藏含水上升规律的影响。

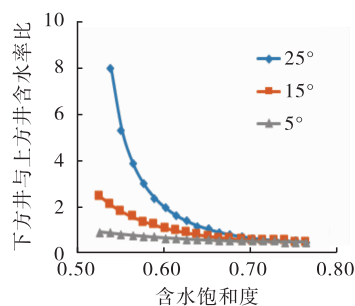


图 1 不同倾角重力对含水率影响曲线

Fig.1 Curve of gravity on water cut at different angles

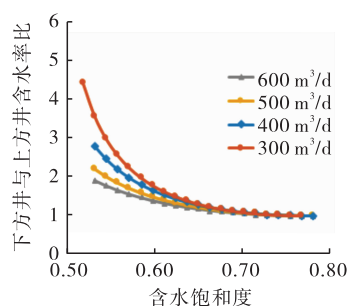


图 2 不同产量重力对含水率影响曲线

Fig.2 Curve of gravity on water cut at different yield

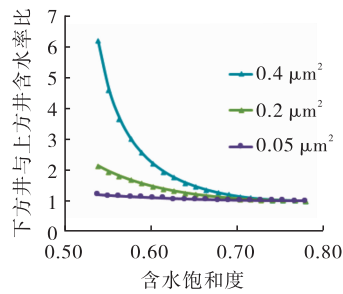


图3 不同渗透率重力对含水率影响曲线

Fig.3 Curve of gravity on water cut at different permeability

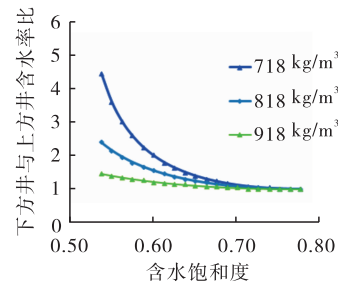


图4 不同原油密度重力对含水率影响曲线

Fig.4 Curve of gravity on water cut at different viscosity

2 油藏含水上升曲线的求解及可靠性验证

将厚层的多层实际油藏纵向上划分为 N 个小层,每个小层均有本身的储层物性,剖面压力均等模型^[5-11]是每个小层是活塞式驱替,通过 N 个小层的叠加最终表现出能反应油藏实际生产过程的非活塞式驱替的效果。为了能更适应大倾角厚层的轻质油油藏的应用,将重力向引入该模型得到每个小层的产油量和产水量,累加得到总的产油量和产水量,最终即可得到第 j 小层见水时油藏的含水率计算公式为

$$f_{wj} = \frac{-\frac{W}{\mu_w} \sum_{i=1}^j k \Delta h_i k_{rw} \cdot \left(\frac{dP}{dx} \pm \rho_w g \sin \alpha \right)}{-\frac{W}{\mu_w} \sum_{i=1}^j k \Delta h_i k_{rw} \cdot \left(\frac{dP}{dx} \pm \rho_w g \sin \alpha \right) - \frac{W}{\mu_o} \sum_{i=j+1}^N k \Delta h_i k_{ro} \cdot \left(\frac{dP}{dx} \pm \rho_o g \sin \alpha \right)} \quad (2)$$

式中: f_{wj} 为第 j 小层含水率; W 为模型宽度; Δh_i 为模型单层厚度; $\frac{dP}{dx}$ 为压力梯度。

第 j 小层见水时油藏的含水率过程中的关键参数是渗透率,然而油藏的实际渗透率分布有一定的不确定性,目前普遍认可的是渗透率呈对数正太分布,同时统计渤海 10 个在生产的轻质油油田实际的渗透率情况发现均符合对数正太分布与普遍认识一致^[12-13],将本文研究的对象 X 油田的实际参数代入计算即可得到含水变化规律。为了建立含水上升规律曲线,通过广适水驱曲线,单井可采储量的计算公式为

$$N_p = N_R - a \frac{N_p^2}{W_p^q} \quad (3)$$

式中: N_p 为累产油; N_R 为可采储量; W_p 为累产水,上标 q 为回归变量。

这样便可得到纵坐标为含水率和横坐标为可采储量采出程度的曲线图。为了检验该曲线的准确性,将 X 油田实际含水与可采储量采出程度投到标准曲线上,可以看出匹配性较好,如图 5 所示。

根据该曲线结合油田实际单井地质情况和动态表现,将油井见水大致划分为 3 种类型及治理措施^[14-16],见表 1。

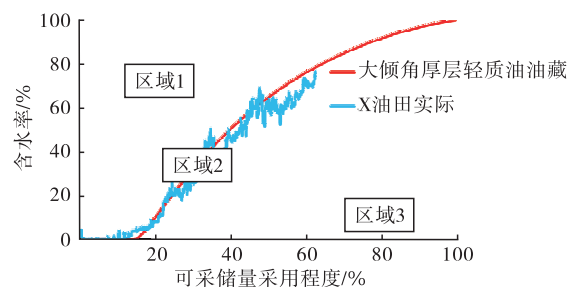


图5 含水率和可采储量采出程度关系曲线

Fig.5 Curve of water cut and recovery degree of recoverable reserves

表 1 不同油井见水类型地质油藏特点及治理措施						
Table 1 Characteristics and measures of geological reservoirs with different water-breakthrough types						
见水类型	均质性强弱	曲线位置	曲线形态	动态表现	剩余可采储量大小	治理方向
单层突破型	强	区域 1,曲线上方	大“厂”型	较短的低含水期,含水快速上升	大	卡水、堵水
均匀推进型	一般	区域 2,曲线附近	平滑型	含水上升平缓	一般	提液
理想型	弱	区域 3,曲线下方	小锐角	较长的低含水期,含水上升缓慢	小	控制维护

3 油田现场实践应用及效果

3.1 单层突破型

采油井 A24 井含水上升呈现快速上升的现象,含水率明显高于其他单井,在平面上存在采油井被注水井单向驱替的现象且位于构造低部位。通过曲线识别该井为注入水单层突破型采油井,由于其某些小层采出程度较低,采取换层生产的措施。A24 井生产管柱为射孔联作油井,无法测产液剖面。首先是换管柱作业,进行采液剖面测试,随后根据测试结果进行换层生产,关掉高含水层第一段,措施后日增油进 100 m³,取得了显著的增油效果,治理后曲线如图 6 和图 7 所示。

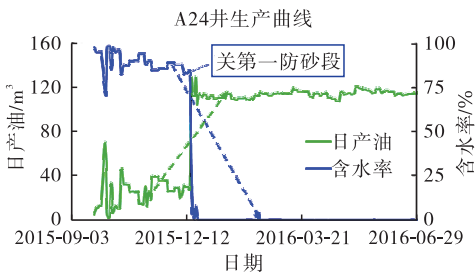


图 6 A24 井关层效果曲线

Fig.6 Shut-in effect curve of A24 well

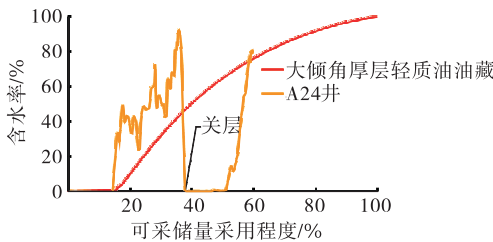


图 7 A24 井关层前后曲线变化

Fig.7 Curve change after shut-in of A24 well

3.2 均匀推进型

典型注入水均匀推进型单井:采油井 A15 井含水上升呈现稳步上升的现象,且在平面上存在采油井被注水井多向驱替。针对注入水均匀推进型采油井,由于其各个小层采出程度已经很高,加大注水井注水量,采油井采取提液措施。油井提液措施是通过较大的过水倍数来获取更高的采收率,以 A15 井为例,对 A15 井进行提液措施,日增油 30 m³,如图 8 和图 9 所示。

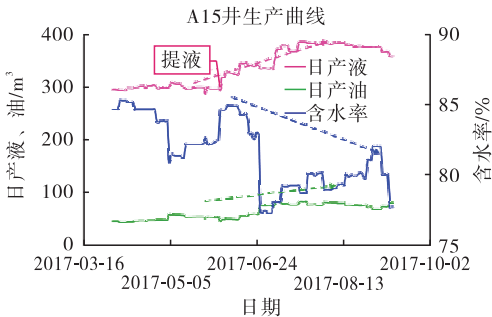


图 8 A15 井提液效果曲线

Fig.8 Liquid extraction effect curve of A15 well

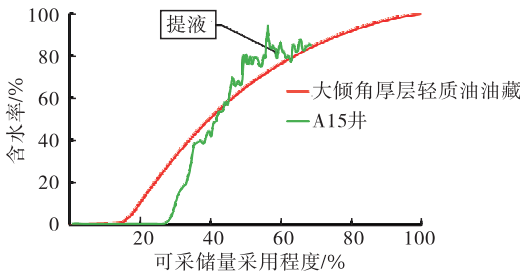


图 9 A15 井提液前后曲线变化

Fig.9 Curve change after liquid extraction of A15 well

4 结 论

- 1)重力对大倾角厚层油藏含水上升规律具有较大影响。
- 2)建立了考虑重力的大倾角厚层轻质油油藏含水上升曲线,应用该曲线总结 3 种油井见水类型,并制定治理方向。
- 3)该曲线有效地指导了油田测试及增产措施的实施,效果显著,值得推广实践。

参考文献:

- [1]贾红兵. 层状油藏重力渗流机理及其应用[J]. 石油学报, 2012, 33(1): 112-116.
- [2]王剑峰. 地层倾角对油田注水开发的影响[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2013, 15(1): 49-51.
- [3]梁双庆. 厚层块状稠油油藏重力水驱效果研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2010.
- [4]李传亮, 朱苏阳. 关于油藏含水上升规律的若干问题[J]. 岩性油气藏, 2016(3): 1-5.
- [5]葛森. 油藏含水上升规律分析及问题探讨[J]. 化学工程与装备, 2019, 271(8): 146-150.
- [6]别梦君, 张宏友, 缪飞飞, 等. 水驱油田含水上升率主要影响因素研究与应用[J]. 石油化工应用, 2018, 37(8): 16-21.
- [7]党海龙, 刘滨, 赵习森, 等. 岩性油藏含水上升规律预测新方法[J]. 特种油气藏, 2017, 24(5): 116-119.
- [8]赵应方. 特低渗透大倾角油藏注水开发对策探讨[J]. 中国石油和化工, 2016(s1): 273-283.
- [9]段宇, 戴卫华, 杨东东, 等. 基于油田含水上升规律的水驱特征曲线选型方法[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(6): 718-723.
- [10]缪飞飞, 刘小鸿, 张宏友, 等. 水驱油田含水上升规律综合研究与实践[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2014, 16(2): 71-73, 153.
- [11]刘小鸿, 缪飞飞, 崔大勇, 等. 水驱油田理论含水上升率预测新方法及其应用[J]. 断块油气田, 2013, 20(6): 736-739.
- [12]姜汉桥, 姚军, 姜瑞忠. 油藏工程原理及方法[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2006.
- [13]马栋, 杨明, 陈存良, 等. 多流管法预测中轻质油藏含水上升规律新实践[J]. 中国石油大学胜利学院学报, 2018, 32(3): 32-35.
- [14]朱志强, 李云鹏, 葛丽珍, 等. 砂岩油藏水平井见水后增产措施确定方法[J]. 特种油气藏, 2017, 24(2): 107-109.
- [15]张媛. D 区油藏见水规律及治理对策研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2014.
- [16]易虎. B1 低渗油藏见水规律及影响因素研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2016.

(责任编辑:殷丽莉)