

提高水淹规律认识精度的新方法

李展峰,王永平,瞿朝朝,王欣然,陈善斌

(中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300452)

摘要:水淹图是直观表达储层水淹规律的重要地质图件,含水率与注水倍数图版的正确与否直接决定着水淹规律认识是否正确。物理模拟实验过程中发现,在注水早、中期,含水率与注水倍数实验数据点常常缺失,最终造成水淹图绘制失真。通过岩心级别数值模拟,对含水率与注水量关系图版进行了修正,提高了水淹规律认识精度。

关键词:水淹规律 岩心级别 数值模拟 物理模拟 含水率 注水倍数

中图分类号:TE341 **文献标志码:**A

A new method to improve recognition accuracy of water – flooded law

LI Zhanfeng, WANG Yongping, QU Zhaozhao, WANG Xinran, CHEN Shanbin

(Tianjin Branch, CNOOC (China) Co., Ltd. Tianjin 300452, China)

Abstract: The water – flooded map is an important geological one to visually express the water – flooded law of reservoirs. The charts of water cut and injection volume multiples are correct or not, which directly determine whether the water – flooded law is correct. However, during physical simulation experiments, it was found that in the early and middle stages of water injection, the experimental data points of water cut and injection volume multiples were often missing, which eventually caused the distortion of water flooding drawing. In this paper, the numerical simulation in core scale was used to correct the relationship between water content and water injection volume, which improves the recognition accuracy of flooding law.

Key words: flooding law; core scale; numerical simulation; physical simulation; water content; water injection volume multiple

N 油田位于渤海辽东湾海域,构造类型以层状构造油气藏为主。主要目的层位于东营组东二段,储层连通性较好。储层渗透率大于 $1\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度 30% ~ 36%,为高孔、高渗储层。地层原油黏度分布在 210 ~ 460 mPa·s,为高黏原油。2007 年该油田开始注水开发,由于油水流动度比较大,含水上升较快,目前全油田已进入高含水期,开发难度逐年增加。

为研究该油田水淹规律,指导剩余油挖潜,提出绘制各小层水淹图,然而在水淹图绘制过程中,发现绘制结果与油田实际生产并不符合,水淹图绘制的水淹情况均较实际水淹情况偏低,主要原因为绘制中采用室内物理模拟得到含水率与注水倍数图版数据缺失^[1-2]。

本文采用岩心级别精细数值模拟修正了含水率与注水倍数图版,并将修正后的图版应用于小层水

淹图绘制,以指导油田剩余油挖潜。

1 水淹图绘制原理

水淹图是直观表达储层水淹规律的重要地质图件。其主要原理是依据吸水剖面、分层调配等测试资料,将注水井注水量垂向劈分到各小层,再依据注采井网将注水量平面劈分到各油井,并将注水量折算为注水倍数。然后应用室内物理模拟得到的含水率与注水倍数曲线图版来确定不同注水倍数下油井的水淹程度^[3-4]。可见,含水率与注水倍数图版是利用水淹图认识油田水淹规律的核心,该图版的正

收稿日期:2018-12-06;改回日期:2019-03-01。

第一作者简介:李展峰(1989—),硕士,油藏工程师,主要从事油气田开发方案制定等工作。E-mail: lizhf18@cnooc.com.cn。

确与否直接决定着水淹规律认识是否正确,影响着油田各项开发措施、方案的制定与实施。

2 室内物理模拟存在问题

研究水驱油田开发规律,指导水驱油田有效开发的关键参数主要通过室内物理模拟获取。通过对大量物理模拟水驱油实验结果统计,发现低黏原油的含水率与注水倍数关系图版实验数据齐全(见图 1),高黏原油的含水率与注水倍数关系图版中,低含水期的实验数据点存在缺失现象(见图 2)。

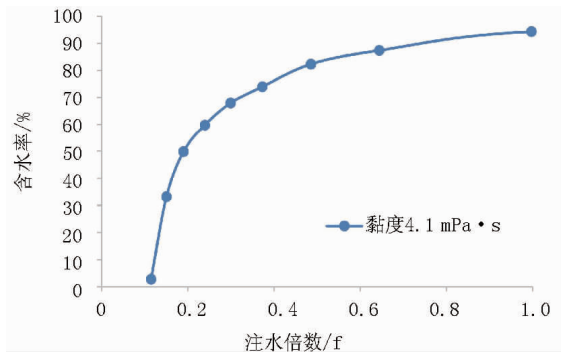


图 1 含水率与注水倍数物理模拟数据点齐全

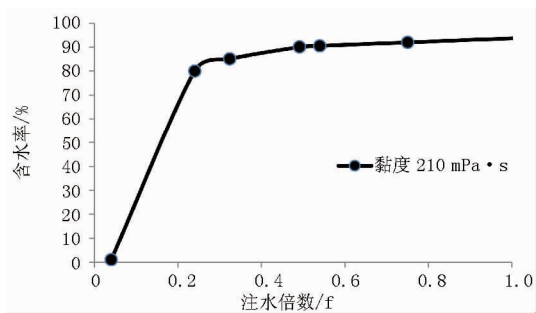


图 2 含水率与注水倍数物理模拟早、中期数据点缺失

渤海地区主要以稠油开发为主。以渤海地区某区域岩心水驱油获取的实验数据点为例,对 51 条实验数据点进行分类统计,发现实验数据点齐全的曲线仅占 9.8%,且均为原油黏度低于 50 mPa·s 的常规原油。黏度高于 50 mPa·s 的高黏原油实验数据点均存在中、低含水期缺失问题(见表 1、图 3)。

表 1 含水率与注水倍数关系图版实验结果统计

类别	数据点全	中、低含水期 数据点缺失	总计
数量/条	5	46	51
比例/%	9.8	90.2	100
黏度/(mPa·s)	4.1~50	50~340	4.1~340

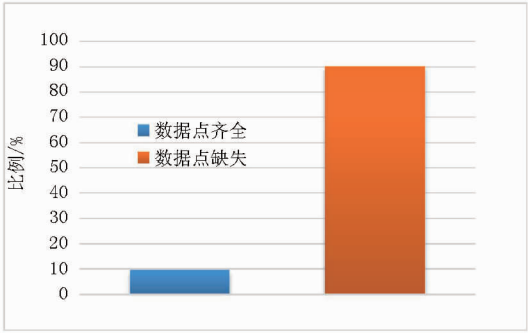


图 3 含水率与注水倍数关系图版物理模拟结果统计

分析认为,造成这一现象的主要原因为:实验采用的岩心尺寸较小,常规原油水驱油过程中油水流量度较小,可实现近似均匀驱替,岩心出口端可获取完整的实验数据点。高黏原油水驱油过程中油水流量度较大,产生指进现象(见图 4),无法准确获取中、低含水期的实验数据^[5-8]。



图 4 指进现象模型

3 物理模拟结果修正

室内物理模拟实验得到的含水率与注水倍数关系图版数据点缺失影响油田水淹规律的分析^[9]。通过开展岩心厘米级别的精细数值模拟研究,对室内岩心水驱油实验进行数值模拟,以获取水驱油过程中的完整数据点,提高水淹图绘制精度,有效指导水淹规律研究,为油田调整方案的制定提供可靠依据。

3.1 建立岩心厘米级别精细数值模拟模型

采用 ECLIPSE100 模拟器作为模拟计算软件,模拟水驱油过程,以解决物理模拟实验中、低含水期实验数据点缺失问题。

根据实验情况建立岩心级别机理模型。相渗、孔隙度、渗透率、模型尺寸均采用岩心数据(见表 2),PVT 数据借助 N 油田实际数据,建立网格数量为 19 220 (20 × 31 × 31,长度为 5.500 cm,直径为 2.500 cm 的岩心模型,注采方式为一注一采(见图 5)。实验过程为恒速驱替,驱替速度为 1mL/min,

设置模型中注水井、采油井的控制条件分别为定注入量(60 mL/h)和定液生产(60 mL/h)。

表2 N油田B-10岩心实验数据

岩心	长度/cm	直径/cm	孔隙度/%	空气渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	含水饱和度	水相相对渗透率	油相相对渗透率
B-9	5.500	2.500	38.3	9 540.3	0.183		1.000
					0.253	0.002	0.765
					0.272	0.004	0.706
					0.314	0.011	0.581
					0.362	0.024	0.454
					0.385	0.033	0.395
					0.409	0.045	0.340
					0.432	0.058	0.287
					0.456	0.073	0.239
					0.503	0.111	0.152
					0.550	0.159	0.082
					0.573	0.186	0.054
					0.597	0.217	0.030
					0.630	0.265	0.007
					0.644	0.288	0.002
					0.653	0.303	0

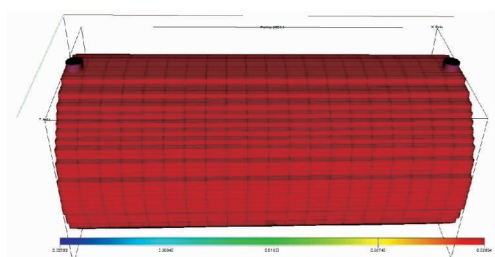


图5 岩心级别实验模拟模型

3.2 模拟结果

采用岩心级别精细数值模拟得到含水率与注水量关系曲线(见图6),将注水量折算为注水倍数绘制含水率与注水倍数图版,并与物模结果进行对比(见图7)。

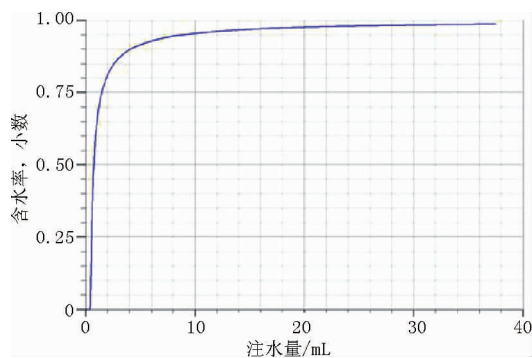


图6 岩心水驱油注水量与含水率关系模拟结果

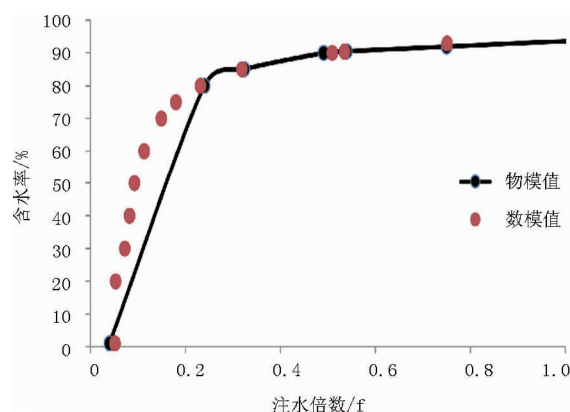


图7 含水率与注水倍数模拟对比结果

从图可以看出,数值模拟结果与物理模拟数据点吻合度较高,同时验证了补充数据点的可靠性。

4 应用实例

分别将物理模拟与数值模拟得到的含水率与注水倍数图版应用于水淹图绘制,并将其与井口含水进行比较(见图8、表3)。

根据图表可以看出,数值模拟修正后的水淹规律认识更为准确。将此研究成果应用于调整井研究,有效指导了4口调整井的挖潜方案,预计增油 $23 \times 10^4 \text{ m}^3$,提高采收率0.4%。

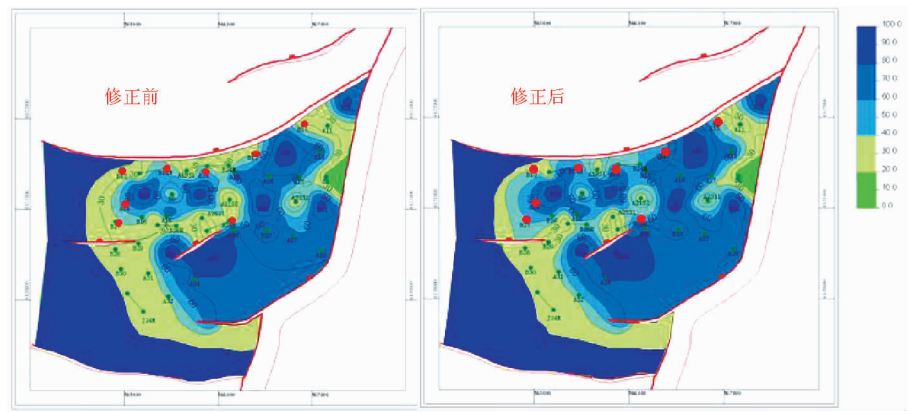


图 8 N 油田东二上段Ⅲ油组 2 小层修正前后水淹图对比

表 3 含水率与注水倍数曲线修正前后水淹对比分析

井号	B13	A24	B14M	B12	A14	B27	B17	B25H
修正前水淹/%	20 ~ 40	20 ~ 40	40 ~ 60	20 ~ 40	40 ~ 60	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 40
修正后水淹/%	40 ~ 60	40 ~ 60	60 ~ 80	40 ~ 60	60 ~ 80	40 ~ 60	40 ~ 60	40 ~ 60
井口含水/%	7	60	86	50	78	64	22	90
备注	产出少			出砂降频				

5 结论及建议

(1)开展岩心级别精细数值模拟研究,补全了物理模拟过程中含水率与注水倍数早、中期缺失实验数据点。

(2)将数值模拟结果应用于水淹规律认识,指导了 4 口调整井的挖潜方案,预计增油 $23 \times 10^4 \text{ m}^3$,提高区域采收率 0.4%。

(3)虽然目前实验方法得到了改进,但仍然存在前期数据点缺失的现象。因此,建议继续改进实验方法和设备,提高实验精度,为油田生产提供更准确的参考数据。

参考文献:

[1] 王飞,张军,梁绍洪. 小层水淹图的绘制及在中原油田文 10 块的应用[J]. 内江科技,2014,35(7):34,26.

[2] 乔霞,刘卫丽,聂延波,等. 块状边底水油藏水淹规律研究

(上接第 40 页)

[5] 冯程程. 二类油层聚合物驱开发动态特征[J]. 科学技术与工程,2011,11(31):7782-7784.

[6] 肖龙,周宏伟,李丽娟,等. 二类油层聚合物驱上下返注工艺实践与认识[J]. 油气田地面工程,2003,22(2):12-14.

[7] 宋洪才,史春华,康少东. 模糊数学方法在大庆油田北一、二排西部注聚层系优化组合中的应用[J]. 东北石油大学学报,1998(4):27-29.

[8] 庞晓慧. 大庆油田杏十二区块水聚同驱优化研究[D]. 东北

[J]. 长江大学学报(自科版),2014,11(32):83-86.

[3] 孟雅杰,李和全. 微机绘制水淹状况图的方法[J]. 大庆石油地质与开发,1995,13(1):70-74,79.

[4] 陈萍. 计算机快速绘制水淹图技术研究[J]. 化工管理,2014,18(5):93.

[5] 于春生,李闽,乔国安,等. 纵向非均质油藏水驱油实验研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2009,11(1):84-86.

[6] 苏娜,黄健全,韩国辉,等. 微观水驱油实验及剩余油形成机理研究[J]. 断块油气田,2007,13(6):50-51.

[7] 高旺来,沈德煌,李芳芳. 稠油相对渗透率实验过程出口端管线的驱油特征[J]. 特种油气藏,2013,20(1):115-117,157.

[8] 李功,杨小婕,耿娜,等. 渤海油田油水相对渗透率和水驱油效率研究[J]. 长江大学学报(自科版),2015,12(14):61-65,7.

[9] 刘斌,杨静,张瑞,等. 海上注水油田水淹规律分析软件在渤海某油田中的应用[J]. 石油化工应用,2017,36(1):106-110.

(编辑 谢 葵)

石油大学,2016.

[9] 何春百,冯国智,谢晓庆,等. 多层非均质油藏聚水同驱物理模拟实验研究[J]. 科学技术与工程,2014,14(7):160-163.

[10] 张玮,张宁,王成胜,等. 平面非均质性对渤海 B 油田注聚效果的影响实验研究[J]. 科学技术与工程,2017,17(10):182-187.

(编辑 谢 葵)