

非均质油藏井网注采参数优化的 可视化模拟驱替实验

王东英,任 熇,蒋明洁,张航艳

(中国石油大学(华东)石油工程学院,山东 青岛 266580)

摘要:油藏储层的非均质性是影响油、水渗流规律及采收率的内在因素,注采参数是影响非均质油藏采收率的外在因素,可视化模拟驱替实验是确定非均质油藏合理注采参数的有效手段。利用可视化动态仿真驱替实验装置进行水驱油的驱替实验,通过设计7套采用不同的注采参数的实验方案,研究非均质油藏的物性差异、井网形式以及注采参数对水驱程度的影响。研究结果表明,对于非均质油藏,注水开发初期,渗流阻力主要为油对水的阻力,驱替受储层非均质性影响不明显,随着驱替不断进行,孔隙喉道的阻力成为主要阻力,驱替越来越不均衡。对比不同实验方案,通过优化调整非均质油藏的井网形式和注采参数,可以实现最大程度的均衡驱替,改善水驱油藏开发效果,获得更高的采收率 and 经济效益。

关键词:采收率 注采参数 非均质油藏 可视化 驱替实验

中图分类号:TE313.7

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2013)02-0095-04

随着油田开发的不断深入,可视化模拟技术被广泛应用于剩余油分布和注采参数优化研究中^[1]。可视化模拟驱替实验主要过程是建模和渲染^[2],建模是把数据映射成物体的几何图元,渲染是把几何图元描绘成图形或图像。通过可视化的图形和图像,可以直观地观察油、水的渗流规律及变化特征^[3-5]。为此,笔者采用可视化模拟驱替实验,观察水驱波及程度,分析采收率与储层物性、注入方式、采油速率等因素之间的关系^[6-14],从而明确其对水驱效果、剩余油分布以及驱替效果的影响^[15-16],为油田开发中井网形式及注采参数合理确定提供依据。

1 实验准备

1.1 实验设备

实验采用大尺度宏观可视化动态仿真驱替设备,主要由助剂储液罐组、程控微量泵、大范围变焦自动聚焦物模摄取台、温度压力控制器、可恒温槽式可调光源和计算机采集处理系统等构成。该套装置可实现从微观到宏观的无级调整、任意放置角度的可视化模拟驱油实验观察和图像处理,并能进行实验结果的定量分析。

1.2 实验模型

实验采用石英砂充填的平板玻璃模型。模型尺寸为60 cm×60 cm,填砂有效厚度为2 mm。高渗透区的平均渗透率为11.79 μm^2 ,低渗透区的平均渗透率为4.279 μm^2 。采用真空法将模型饱和模拟水,模拟水矿化度为5 000 mg/L;将模型饱和红色模拟油,模拟油粘度为70 mPa·s。

1.3 实验方案

实验设计7套方案(表1)。要求注入井、产液井

序号	注采方式	驱替速度/ ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)		实验流程	最终采收率, %
		高渗透区	低渗透区		
1	中间注,四周采	0.5	0.5	中间水驱,至四周水驱突破结束	51.2
2	中间注,四周采	0.5	0.5	高渗透区突破后,关闭高渗井,继续水驱至低渗井突破结束	74.4
3	中间注,四周采	0.5	0.5	只开低渗透区驱替,突破后关闭;然后只开高渗透区,至突破结束	55.8
4	四周注,中间采	0.5	0.5	四周注水,高渗透区突破后关闭,至低渗透区突破结束	65.9
5	中间注,四周采	0.2	0.4	中间水驱,至四周水驱突破结束	63.1
6	中间注,四周采	0.1	0.5	中间水驱,至四周水驱突破结束	56.7
7	中间注,四周采,高渗透区突破后转注	0.5	0.5	中间注水,高渗透区突破后转注,至低渗透区突破结束	76.2

收稿日期:2013-01-11。

作者简介:王东英,女,从事油藏工程研究。联系电话:18765922387, E-mail: Wdyappstore@126.com。

基金项目:国家科技重大专项“整装油田特高含水期提高水驱采收率技术”(2011ZX05011-002)。

均采用多通连接器与泵及排液管连接,利用泵给模型施加正负压进行水驱。实验过程中,仔细观察并记录驱替现象,分析实验结果。

2 实验结果及分析

2.1 油层物性差异控制水驱程度

相同驱替速度下,油层的物性差异控制水驱程度。从实验方案1的水驱注采过程(图1)可以看出,

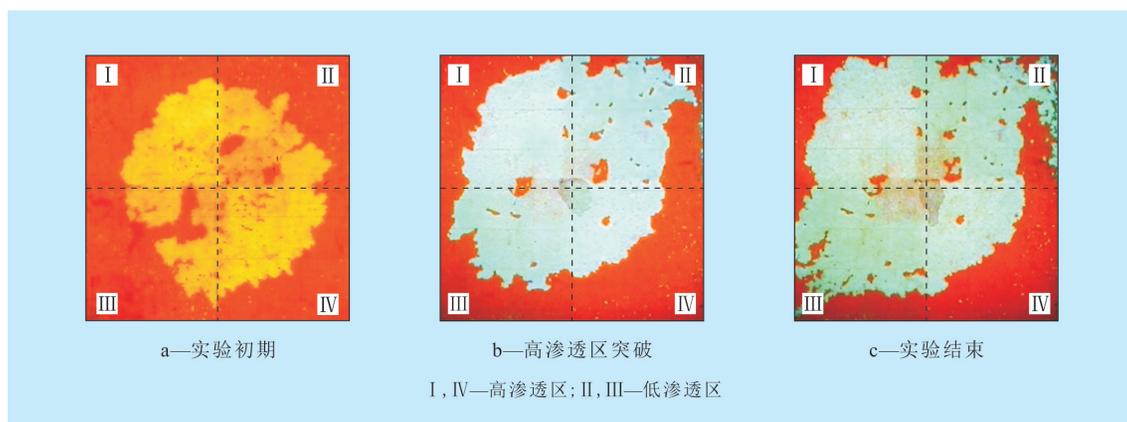


图1 实验方案1的水驱注采过程

从实验方案2的水驱注采过程(图2)可以看出高渗透区的油井关闭后,低渗透区的驱替仍可以继续深入突破,采收率明显提高。与实验方案1相比,低渗透区采收率平均提高了30%,最高达60.5%。

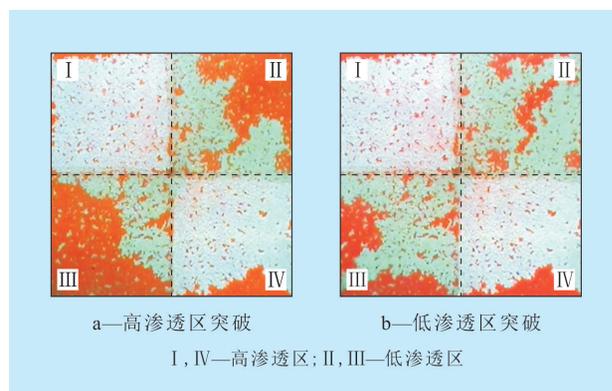


图2 实验方案2的水驱注采过程

2.2 井网形式和流线分布控制水驱程度

相同驱替速度下,井网形式和流线分布控制水驱程度。从实验方案3的水驱注采过程(图3)可以看出,高渗透区和低渗透区具有相似的驱替过程,均是先沿注采井连线方向突破,然后向外围逐步扩散,只是高渗透区的最终采收率高7%~8%。实验方案4和方案3相似,只是注采关系互换,表现出的驱替现象也基本一致。实验方案4的最终采收率比

驱替初始阶段,高、低渗透区的水驱油动用面积几乎相同,一旦高渗透区突破后,低渗透区不再深入突破。究其原因,水驱初始阶段的渗流阻力主要来自于油对水的阻力,孔隙喉道的阻力影响较小,渗透率级差不明显;随着驱替的进行,油的体积越来越小,达到一定程度后,孔隙喉道的阻力变成主要阻力,表现为高渗透区的驱替速度较快,低渗透区的驱替速度较慢;因此,高渗透区突破后,低渗透区的注入水几乎不再前进。

方案3的高10.1%,表明四周均衡注水驱替的效果较好。

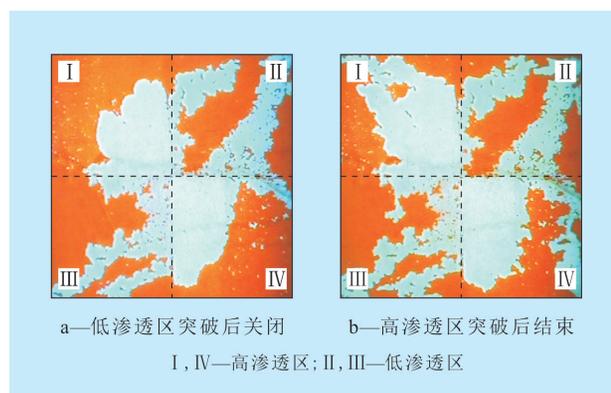


图3 实验方案3的水驱注采过程

2.3 不同驱替速度时采收率不同

相同驱替方式下,不同驱替速度时采收率不同。在实验方案5和方案6的水驱注采过程中(图4),针对高渗透区和低渗透区,采用不同的注采速度进行驱替实验,以确定合理的注入参数。

从实验结果可以看出,方案5的最终采收率比方案6高6.4%。这是由于模型的不同非均质性使得高、低渗透区的渗流阻力不同,只有控制采油速率,使驱油过程的高、低渗透区驱油面积尽量接近,才能达到更高采收率。

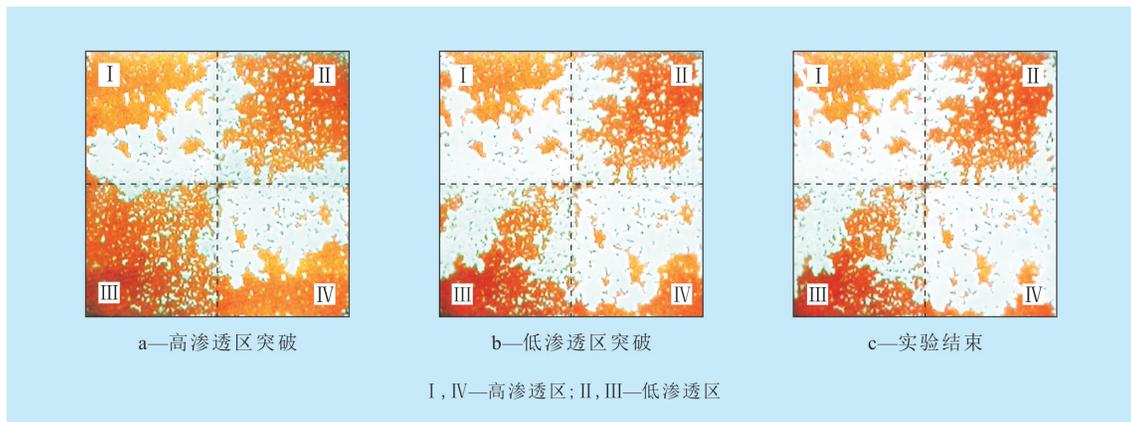


图4 实验方案5的水驱注采过程

2.4 低渗透区采收率的提高

高渗透区突破后油井转注提高低渗透区的采收率。在实验方案7的水驱注采过程中(图5),注入水沿着高渗透区以近似扇形前进,到达生产井,低渗透区的水驱程度明显低于高渗透区。高渗透区注水突破以后,油井转注,低渗透区采油,到油井见水并且含水率超过95%时模拟生产结束。

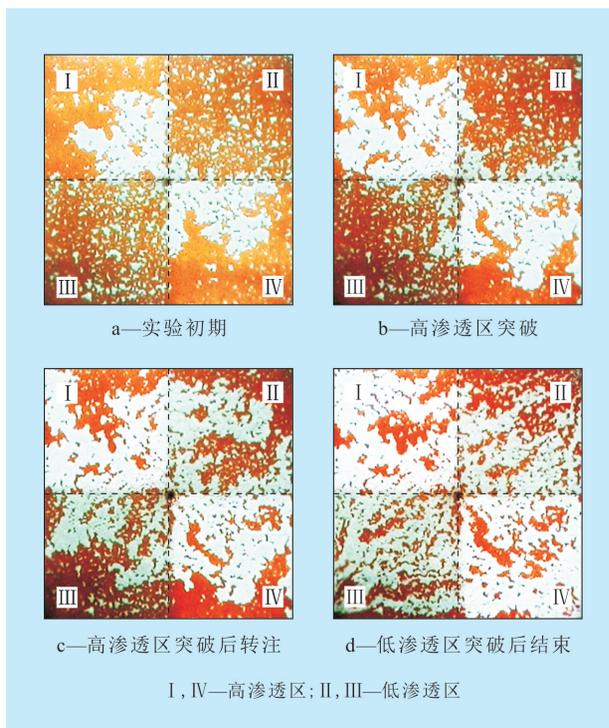


图5 实验方案7的水驱注采过程

与实验方案3和方案4相比,方案7可获得更高的采收率。转注的采油方式使高、低渗透区的采收率都达到了较高的程度,尤其是低渗透区被绕行后,中间残留部分得到很好的驱替。最终采收率比不转注的方案3提高了21%,水驱开发效果较好。

对比不同实验方案的开发效果(图6)表明,方

案7的最终采收率最高,达76.2%;其次为方案2,最终采收率为74.4%;而方案1、方案3和方案6的最终采收率较低,均未达到60%。这表明在优化井网形式和合理的注采参数条件下,控制高渗透区的驱替速度,适当提高低渗透区的驱替速度,能有效提高油层的驱替程度,进而提高最终采收率。

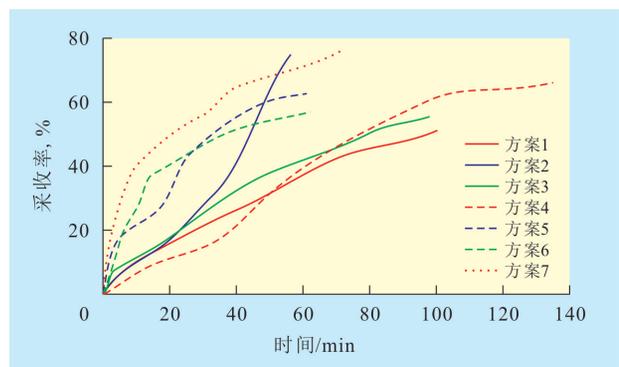


图6 不同实验方案采收率与时间的关系

3 结论

注水开发油藏储层物性差异影响驱替程度。注水驱替的初始阶段,渗流阻力主要为油对水的阻力,孔隙喉道的阻力影响较小,渗透率级差不明显,高、低渗透区的驱油面积几乎相同。随着驱替的不断进行,孔隙喉道的阻力变成主要阻力时,高、低渗透区的水淹差异变大,高渗透区驱替速度逐渐变快,低渗透区驱替速度逐渐变慢,直至不流动。

注水开发非均质油藏的采收率与井网形式、注采方式、采油速率等因素密切相关。高渗透区注水突破后进行油井转注,低渗透区继续采油可提高采收率;控制采油速率使驱油过程中,高、低渗透区的驱油面积尽量接近,可以实现均衡驱替,提高采收率。

参考文献:

- [1] 张同凯,李永环,赵凤兰.双河油田IV5-11层系复合驱油体系实验研究[J].油气地质与采收率,2012,19(1):62-65.
- [2] Onwunali J E, Durlofsky L J. Development and application of a new well pattern optimization algorithm for optimizing large scale field development[C]. SPE 124364, 2009.
- [3] 陈霆.非均质储层模型微观水驱油实验[J].油气地质与采收率,2007,14(4):72-75.
- [4] 刘建民,李阳,毕研鹏,等.应用驱油微观模拟实验技术研究储层剩余油微观分布特征[J].中国海上油气,2000,14(1):51-54.
- [5] 贾忠伟,杨清彦,兰玉波,等.水驱油微观物理模拟实验研究[J].大庆石油地质与开发,2002,21(2):46-50.
- [6] 李恒清,杨少春,路智勇.油气充注方式对油藏内油水分布特征的影响——以东营凹陷永8断块油藏为例[J].油气地质与采收率,2012,19(2):9-11.
- [7] 张学文,方宏长,齐梅.低渗透油田开发注采井网系统设计探讨[J].石油勘探与开发,2000,27(3):57-59.
- [8] 张立娟,岳湘安.亲油岩石壁面残余油膜的微观驱替机理[J].油气地质与采收率,2007,14(1):79-82.
- [9] 侯永利,李翔,张云宝,等.渤海油田氮气泡沫与水交替注入提高采收率室内实验研究[J].油气地质与采收率,2011,18(6):56-58.
- [10] 常学军,郝建明,熊伟,等.平面非均质油藏来水方向诊断和调整[J].石油学报,2004,25(4):58-61.
- [11] 冯庆贤,唐国庆,陈智宇,等.水/气交替驱微观实验研究[J].油气采收率技术,1995,2(4):6-13.
- [12] 范江,张子.非均质油层波及系数计算模型[J].石油学报,1993,14(1):92-98.
- [13] He Dongbo, Jia Ailin, Jia Chengye, et al. Well spacing optimization for tight sandstone gas reservoir[C]. SPE 131862, 2010.
- [14] 邵先杰.油藏渗透率非均质性表征新参数[J].石油实验地质,2010,32(4):397-399.
- [15] 李传亮.半渗透隔板底水油藏油井见水时间预报公式[J].大庆石油地质与开发,2001,20(4):32-34.
- [16] 赵清民,吕静,李先杰,等.非均质条件下乳状液调剖机理[J].油气地质与采收率,2011,18(1):41-43.

编辑 王星

(上接第94页)

参考文献:

- [1] 胡博仲.聚合物驱采油工程[M].北京:石油工业出版社,1997:15-113.
- [2] 王克亮.改善聚合物驱油技术研究[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [3] 王启民,冀宝发,隋军,等.大庆油田三次采油技术的实践与认识[J].大庆石油地质与开发,2001,20(2):1-8.
- [4] 张以根,元福卿,郭兰磊,等.胜利油田聚合物驱矿场效果影响因素研究[J].西南石油学院学报,2001,23(3):50-53.
- [5] 马艳,周生友,刘大猛,等.改善双河油田二类储量高温聚合物驱开发效果对策研究[J].石油地质与工程,2010,24(6):82-84.
- [6] 孙忙忠,姜振海,焦艳丽.北二区西部聚合物驱注入速度影响因素及对策[J].大庆石油地质与开发,2001,20(3):60-63.
- [7] 赵玉欣.注水和边水对聚合物驱效果的影响[J].石油地质与工程,2007,21(1):39-40.
- [8] 李宜强,梁双庆,林丽华.聚合物驱不同注入方式对比评价[J].油气地质与采收率,2010,17(6):58-60.
- [9] 曹瑞波,王晓玲,韩培慧,等.聚合物驱多段塞交替注入方式及现场应用[J].油气地质与采收率,2012,19(3):71-73.
- [10] 孔柏岭,宋振宇.耐温抗盐的低浓度交联聚合物体系研究[J].石油学报,2000,21(4):70-74.
- [11] 张建华.聚合物凝胶体系在孔隙介质中交联及运移封堵性能研究[J].油气地质与采收率,2012,19(2):54-56,63.
- [12] 蒲玉国,吴时国,冯延状,等.剩余油“势控论”的初步构建及再生潜力区模式[J].西安石油大学学报:自然科学版,2005,20(6):7-11,15.
- [13] 黄伟.提液措施对聚驱效果的影响[J].西南石油学院学报,2006,28(3):74-76.
- [14] 刘莉莉,孙宜丽,何兰兰,等.改善二类储量聚合物驱效果动态调整技术研究[J].石油地质与工程,2012,26(1):51-53,56.

编辑 刘北羿