

The Research of Influx Law for Oil-Water Differentiation Microcosmic Flow on Heavy Oil

Chunsheng Wang, Shan Meng, Jimin Yi, Guoqing Dong, Chang Xu

Northeast Petroleum University, Daqing Heilongjiang
Email: 1466697971ms@sina.com

Received: Oct. 13th, 2015; accepted: Nov. 4th, 2015; published: Nov. 6th, 2015

Copyright © 2015 by authors 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

Abstract

For the problems such as not synchronized theory and practice of heavy oil reservoirs and not clear mechanism of profit differentiate, combined with the experimental results of the actuating pressure gradient, we can use the experimental data fitting the coefficient of drag. Using the method of numerical calculation, we analyze the influx law of the viscosity of oil, the pressure gradient, the block, and the density of oil on microcosmic flow especially. Finally by comparing the distribution of oil and water phase under different influential factors, we display the law for the oil-water differentiation microcosmic flow of heavy oil directly. Research results can provide reference for revealing the mechanism of heavy oil profit differentiation, and contribute to EOR of heavy oil reservoirs.

Keywords

Heavy Oil, Oil-Water Differentiation, Microcosmic Flow, Numerical Calculation

稠油油水分异微观流动规律研究

王春生, 孟 珊, 仪记敏, 董国庆, 徐 畅

东北石油大学, 黑龙江 大庆
Email: 1466697971ms@sina.com

收稿日期：2015年10月13日；录用日期：2015年11月4日；发布日期：2015年11月6日

摘 要

针对稠油油藏理论与实践不同步，油水分异机理不明确等问题。结合启动压力梯度实验结果，利用实验数据拟合阻力系数。通过数值计算，重点分析油相粘度、压力梯度、盲端、油相密度等对微观流动规律影响。最终通过对比不同影响因素下油水相态分布，直观展示稠油油水分异微观流动规律。取得研究成果为揭示稠油油水分异机理提供借鉴，对稠油油藏提高采收率具有重要意义。

关键词

稠油，油水分异，微观流动，数值计算

1. 引言

我国稠油资源较为丰富，且稠油油藏分布较为广泛。石油资源的总量的 20% 以上为稠油、沥青资源，预测资源量 198 亿吨。目前陆上 70 多个稠油油田区块已经被发现。对于稠油开采，人们相继采用了蒸汽辅助重力泄油技术、重力泄水辅助蒸汽驱及适应隔夹层开发的稠油重力与压力复合开发技术[1] [2]。辽河油田结合自身油藏特点，又提出了适合深层超稠油开发的重力泄水辅助蒸汽驱和驱泄复合技术[3] [4]。但目前国内外对于稠油的研究和报道多处于油水分异宏观研究[5]和重力分异研究范围内[6]，未有人对稠油油水分异微观流动规律进行分析[7]。本文结合稠油启动压力梯度实验[8]得出稠油不同温度下的最小启动压力，用此物理实验得出的数据来拟合数值模拟微观孔隙下的油水界面张力、润湿角等参数，分别从油相粘度、压力梯度、盲端、油相密度等影响因素进行数值计算，从微观角度分析不同影响因素下稠油油水分异微观流动规律，对稠油油水分异机理研究具有指导意义。

2. 稠油启动压力梯度实验

稠油在渗流过程中油水之间存在粘滞阻力，油与岩石壁面存在界面张力及具有吸附性，根据力的平衡原理，若液体想要流动起来，驱动压力梯度需超过初始启动压力梯度。

实验用油为辽河油田注 59 试验区采集的原油样，稠油启动压力梯度实验必须具备的实验条件：1) 耐高温且渗透率一定的岩心模型；2) 出口设置回压装置；3) 岩心进出口准确的压力监测；4) 准确的粘温数据(进行原油脱水)。

稠油启动压力实验装置主要包括：① 填砂管岩心模型、② ZJ-II 型非等温蒸汽驱油实验装置(高温非等温恒温箱)、③ 蒸汽驱高温调高实验装置(压力监测系统)、④ 2PB00C 系列平流泵、⑤ 中间容器、⑥ 活塞容器、⑦ 回压阀、⑧ 压力容器、⑨ 脱水仪器。

经室内流变仪测定原油样粘温曲线如图 1 所示。

实验油样的粘温拟合公式为

$$\mu = 1E + 08e^{-0.07T} \quad (1)$$

式中： μ ——稠油油样粘度，mPa·s； T ——温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

实验分析渗透率值为：1700 mD；温度值分别为 150 $^{\circ}\text{C}$ 、175 $^{\circ}\text{C}$ 、200 $^{\circ}\text{C}$ 、225 $^{\circ}\text{C}$ 、250 $^{\circ}\text{C}$ ；实验流量分别为 0.05 ml/min、0.1 ml/min、0.15 ml/min、0.2 ml/min、0.25 ml/min。

通过实验，采集各监测点压力，并计算出不同流量下的启动压力梯度，如图 2。

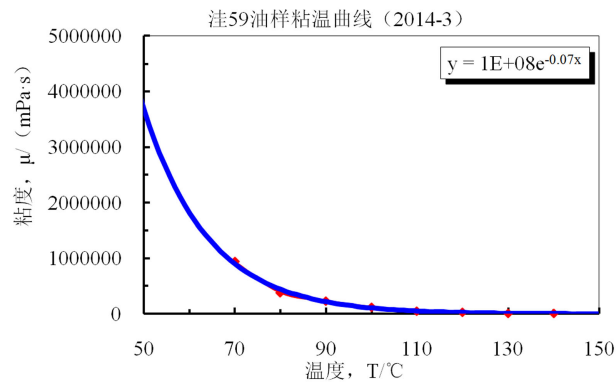


Figure 1. Curve: viscosity-temperature of WA59 heavy oil specimen

图 1. 洼 59 稠油油样粘温关系曲线

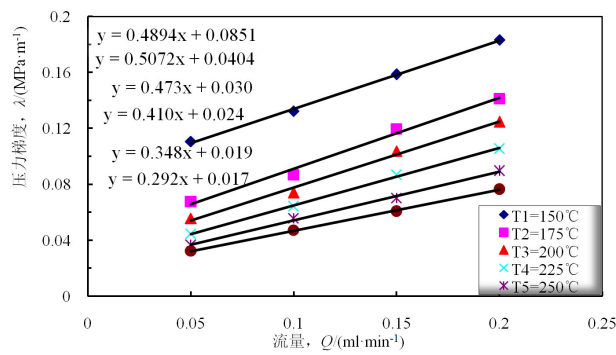


Figure 2. Curve: flow rate and start-up pressure gradient under different temperature

图 2. 不同温度时流量与压力梯度实验曲线

通过稠油启动压力梯度实验，得到微观孔隙流动所需数据，实现阻力系数的拟合。稠油在多孔介质中不同渗透率与温度下，阻力系数拟合关系式为：

$$\lambda_0 = 0.0000033688T^3 - 0.0022936518T^2 + 0.4696202679T - 24.9859576786 \quad (2)$$

式中： λ_0 ——阻力系数； T ——温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

3. 数值计算

3.1. 计算模型

建立长边长度 $L = 10D = 120.6 \mu\text{m}$ 的长方形网格模型， $K = 1613 \text{ mD}$ ， $\Phi = 35\%$ ，孔道直径 $D = 12.06 \mu\text{m}$ 的模型建立后，对模型进行数值计算，计算模型如图 3。

数值计算时重点考虑油相粘度、压力梯度、盲端、油相密度等因素对微观油水分离规律的影响，并得到相应情况下油水相态分布对比图。

3.2. 计算结果及分析

本次稠油油水分离微观规律数值模拟所得出的相图是致力于微观孔隙中两相流的真实再现，蓝色部分液体代表水相、红色部分代表油相，下面采用单一变量法的计算方案分别给出不同运算条件下油水两相间的运动情况。

1) 油相粘度和压力梯度对稠油油水相态分布的影响。标准模型油相粘度为 $2.03 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ，压力梯度为 2.43

MPa/m; 对比模型参数分别为：油相粘度为 4.23 Pa·s, 压力梯度为 3.43 MPa/m。

标准模型与不同油相粘度和压力梯度下油水相态分布对比图如图 4。

图 4(a)为标准模型稠油油水两相分布图, 由图 4(b)可知油相粘度越大, 泄水过程中油包水现象越明显, 泄水阻力越大, 油水分异情况变差; 由图 4(c)可知压力梯度越大, 泄水过程中水相指进现象越明显, 残余油越多。

2) 盲端和原油密度对稠油油水相态分布的影响。标准模型无盲端, 原油密度为 960 kg/m³; 对比模型参数分别为：有盲端, 原油密度为 1005 kg/m³。

标准模型与不同原油密度和有无盲端下油水相态分布对比图如图 5。

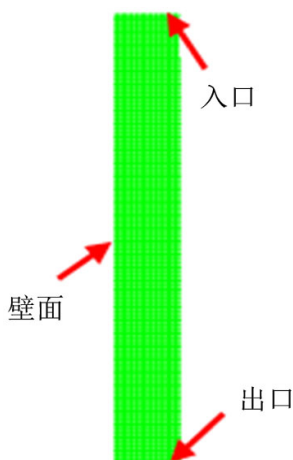


Figure 3. Calculation model of microcosmic void
图 3. 微观孔隙计算模型

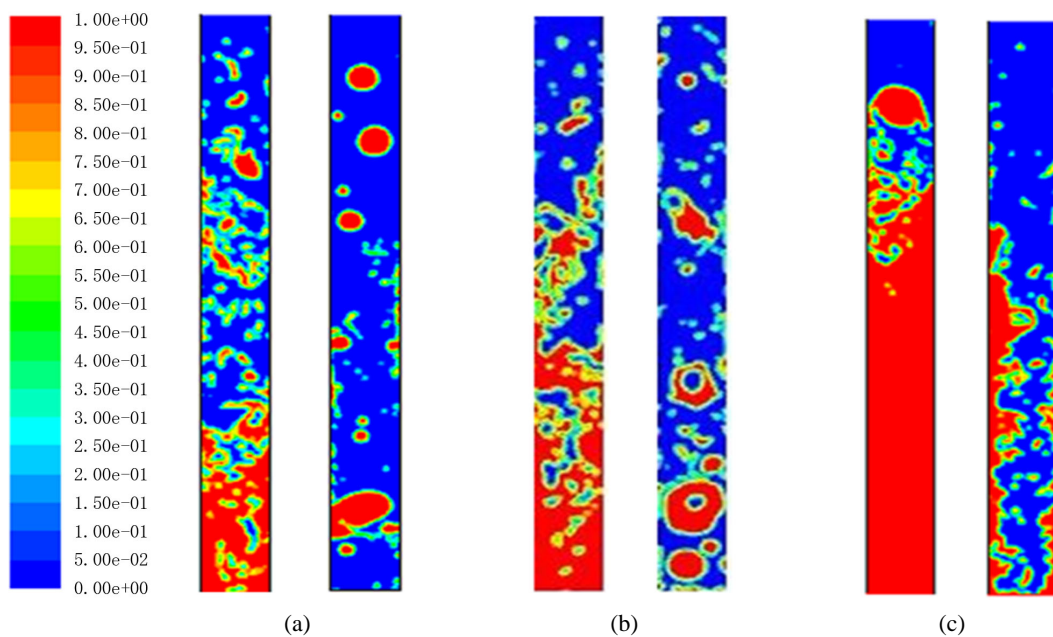


Figure 4. The distribution chart of oil and water phase under different oil viscosity and pressure gradient: (a) normative model; (b) different oil viscosity; (c) different pressure gradient
图 4. 不同油相粘度和压力梯度下油水相态分布对比图: (a) 标准模型; (b) 不同油相粘度; (c) 不同压力梯度

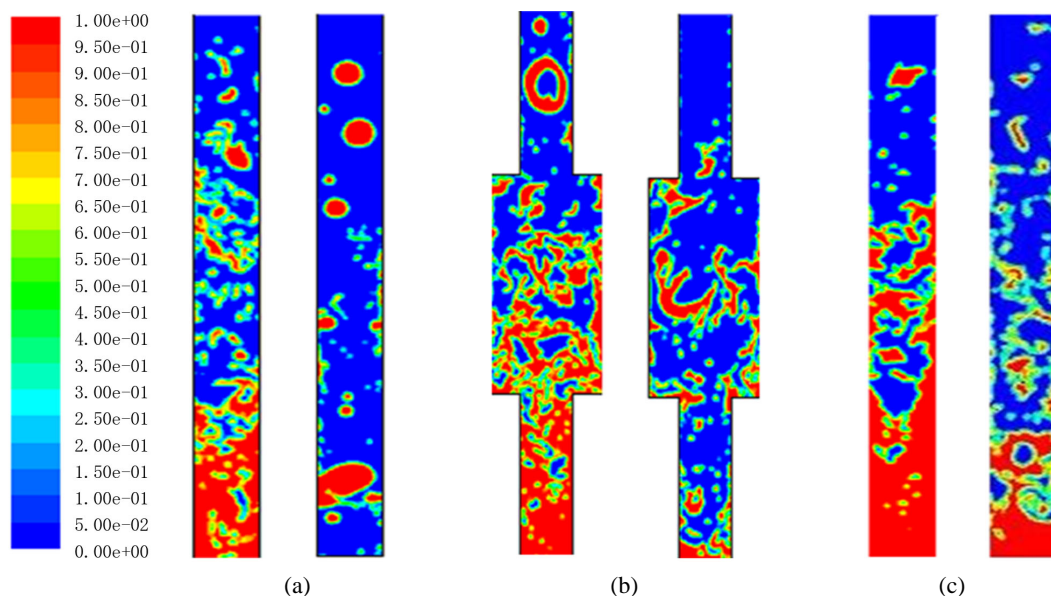


Figure 5. The distribution chart of oil and water phase under different oil density and block: (a) normative model; (b) block; (c) different oil density
图 5. 不同原油密度和盲端下油水相态分布对比图: (a) 标准模型; (b) 有盲端; (c) 不同原油密度

图 5(a)为标准模型稠油油水两相分布图,由图 5(b)可知,微观孔隙内的盲端结构易形成油包水型流态,盲端拐角处形成大量残余油;由图 5(c)可知,油相密度越大,泄水过程中挂壁现象越明显,泄水阻力大,微观孔隙内交错着油相网状结构,造成油水分异情况变差。

4. 结论

1) 通过数值计算,综合分析油相粘度、压力梯度、盲端、原油密度等影响因素对油水相态分布的影响,直观展示了微观孔隙内油水分布规律。

2) 根据微观孔隙油水相态分布图,通过对比得出油相粘度、压力梯度、原油密度越大,泄水过程中油包水现象越明显,微观孔隙内易出现交错油相网状结构,残余油越多;当存在盲端时,盲端拐角处易形成大量残余油,造成油水分异情况变差。

致 谢

感谢各位老师和同仁们在撰写论文期间对我的帮助,无私的为我提供资料和软件指导,用严谨的科研精神一直鼓励着我,大家追求真理、献身科学、严以律己、宽以待人的崇高品质对我将是永远的鞭策。

基金项目

国家自然科学基金面上项目:超重力流化床气固相间作用机理与颗粒流矩模型的研究。

参考文献 (References)

- [1] 任芳祥,等. 辽河油田稠油开发技术与实践[J]. 特种油气藏, 2012, 19(1): 1-8.
- [2] 王春生,任芳祥. 稠油重力驱渗流速度影响因素分析[J]. 特种油气藏, 2013(5): 97-99.
- [3] 王旭. 辽河油区稠油开采技术及下步技术攻关方向探讨[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(4): 484-490.
- [4] 李鹏华. 稠油开采技术现状及展望[J]. 油气田地面工程, 2009, 28(2): 9-10.
- [5] 徐广丽,张国忠. 油水两相管流理论的研究进展[J]. 油气储运, 2010, 29(2): 81-85.

- [6] 王春生, 王晓虎, 郑杰, 等. 稠油重力泄水微观可视化实验研究[J]. 油田化学, 2014, 31(1): 79-81.
- [7] 李风霞. 重力泄油室内试验及油藏模拟[J]. 特种油气藏, 2004, 11(5): 118-119.
- [8] 孙淼. 稠油重力驱油水分异流动数值模拟[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2014.