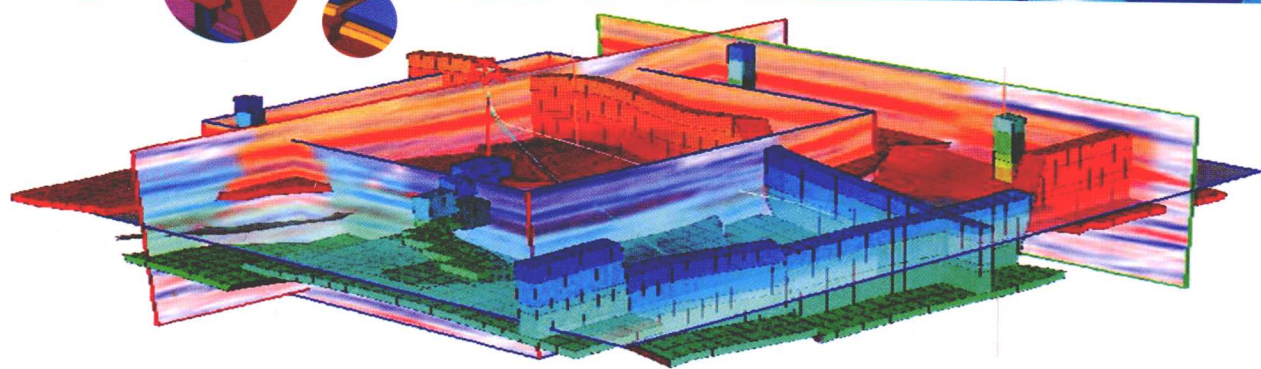
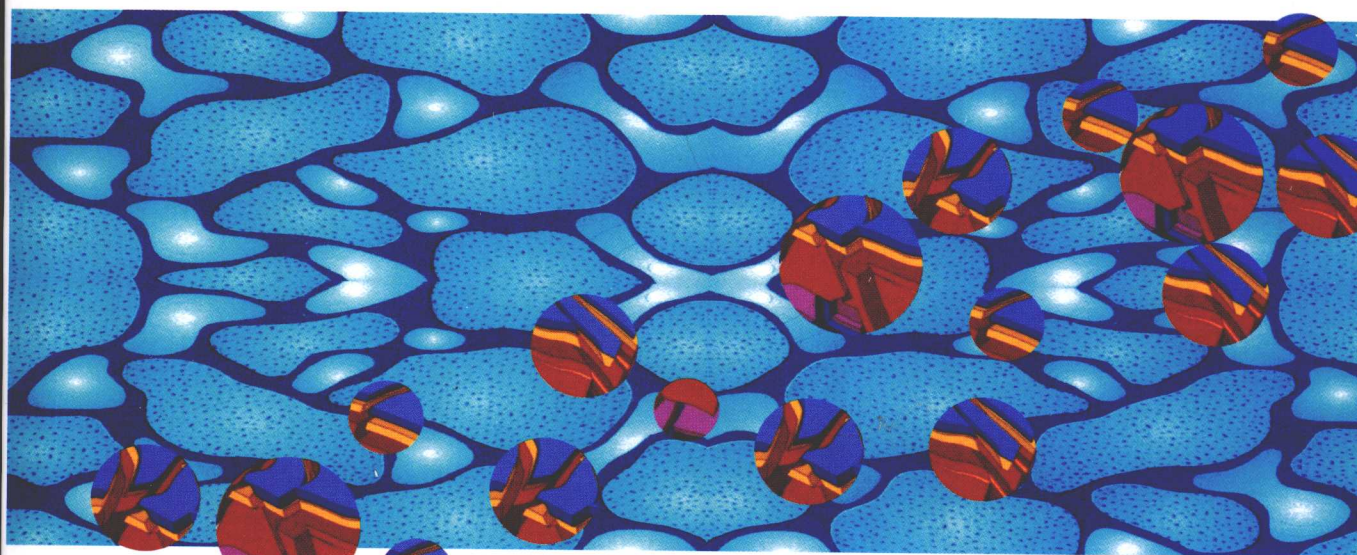




GAOHANSHUI CHUCENG
SHENGYUYOU FENBU
YANJIU JISHU WENJI

高含水储层剩余油分布 研究技术文集

王元基 主编



石油工业出版社

高含水储层剩余油分布 研究技术文集

王元基 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书精选了中国石油学会石油工程专业委员会 2009 年召开的“高含水储层剩余油分布研究学术研讨会”录用的论文 71 篇,从实验研究、测试技术、数值模拟、综合研究四方面对高含水储层剩余油分布进行了探讨与研究,全面反映了该领域技术的研究现状与应用水平,对我国剩余油分布研究具有借鉴与指导意义。

本书可供从事油气田开发的科研人员与高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高含水储层剩余油分布研究技术文集/王元基主编.

北京:石油工业出版社,2009.11

ISBN 978-7-5021-7491-0

I. 高…

II. 王…

III. 含水性-储油层-剩余油-分布-文集

IV. TE327-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 202189 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京晨旭印刷厂

2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 29.25

字数: 730 千字 印数: 1—1800 册

定价: 70.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《高含水储层剩余油分布研究技术文集》

编 委 会

主 编：王元基

副主编：张 勇 孙福街

编 委：胡海燕 罗 伟 郑洪印 黄金山

朱国金 王连刚

前 言

中国的石油开采已经有百年历史。新中国成立后,20世纪50年代末至今,是中国油田开发大发展的时期,1955年生产原油96万吨,1965年超过1000万吨,1973年上升到5000万吨,1978年突破1亿吨,进入世界产油大国行列;2008年,年产原油1.9亿吨,位列世界第五。

当前,大多数主力油田都已进入高含水高采出程度多年,尤其是国内两大主要产油区大庆和胜利,综合含水已经超过90%。在高含水条件下,剩余油分布与储层类型、物性、开采方式以及生产过程等因素密切相关,通过各种技术方法和手段认识并掌握剩余油分布规律,是改善油田开发效果最基础的工作。2006年,中国石油学会石油工程专业委员会曾组织对高含水油田改善开发效果进行了技术研讨,着重从宏观剩余油研究和生产实践实例两个方面交流剩余油挖潜的技术、方法以及取得的效果;2009年,将着重从实验分析、测试技术、数值模拟及综合研究等四个方面对高含水储层剩余油分布进行探讨、研究和总结。在各油田的精心组织下,技术人员踊跃参加投稿,专业委员会共收到征文142篇。通过专家初审,筛选出71篇结集出版;再从中优选部分论文进行会议交流。

结集出版是为相关专业和广大技术人员提供一个交流和展示的舞台。限于编者水平,可能一些优秀的论文未被选中,选中论文的某些观点和认识也可能需要实践的进一步检验。因此,希望广大读者批评指正。

目 录

实验研究

薄层底水油藏水驱渗流机理及渗流规律研究	王锦芳	胡永乐	张啸枫	刘卫东 (3)
超高含水阶段改善水驱油的实验及可采储量计算	沈 思	程时清	郑春峰	张海峰 (9)
低渗透油藏渗流物理特征研究	刘国利			张宏志 (16)
低渗岩石微观水驱油实验研究	乔国安	谢爱华	陈 昊	(22)
海上水驱油田特殊性对物理模拟相似参数的影响分析	白玉湖			张贤松 (27)
正韵律高含水油藏泡沫调驱体系实验研究	宋岱锋	许浩伟	陈 辉	徐 强 (34)
注入倍数增长率及其极限增量对高含水储层剩余油分布的研究	王学立	路永萍	王庆魁	鲁 力 (39)

测试技术

测试技术在石南 31 井区砂砾岩层水平井开发中的应用	张春光	高银香	曾东方	耿华国 (45)
华北油田京 11 断块过套管测井新技术应用研究				赵国瑞 (51)
井地电位法监测技术在提高薄层稠油油藏中后期开发效果中的应用	田永鹏	郑爱萍	鲁小会	王利华 (58)
井温测试技术在稠油水平井开发中的应用				徐英莉 (65)
连续油管在水平井测试中的应用				陈 俊 (70)
辽河油田 SAGD 光纤监测技术	马丽勤			谷洪波 (76)
脉冲中子—中子 (PNN) 饱和度测井技术及地质应用	修春红	胡玲妹	张宗亮	王 庆 (81)
平衡筛管在曹妃甸油田的应用	范海燕	兰利川	仲 颖	赵世君 (89)
羊三木油田特高含水期水淹层识别及评价研究	闫煜彪	张凤婷	孙凤萍	薛建军 (96)
应用 C/O 能谱测井解释成果研究高含水后期主力油层剩余油分布状况	王 广	宋增强	赵金燕	刘 君 (102)
应用数值试井技术研究油藏井组剩余油分布	刘卫东	曹爱琼	褚艳杰	王国先 (108)

数值模拟

多层系砂岩油藏注水开发剩余油分布研究	史立勇	夏朝辉	郭春秋	王 晖 (119)
缝洞型碳酸盐岩油藏数值模拟新技术及应用	康志江	赵艳艳	张 杰	(125)
高含水高采出程度油藏剩余油分布特征	马 艳	李洪生	代亚宏	(131)
高含水期厚油层细分层描述与剩余油挖潜技术	王 敏	夏胜梅	沈爱新	(137)
高含水期精细数值模拟研究及剩余油定量表征	于金彪	宋道万	戴 涛	宋桂茹 (143)

高含水期曲流河沉积砂体层内数值模拟研究	朱 伟	王曙光	左松林	杨清立	(150)
利用混合泥质砂岩双电层电导率模型分析高含水薄差砂体剩余油分布	姜立捷				(157)
利用数值模拟技术研究乾安油田老区剩余油分布规律	陈 秉	王岚岚	尚博莹	刘玉珍	(163)
ECL 软件对海上化学驱新体系数值模拟实现的应用探讨	王海江	张贤松	杨俊茹	孙福街	荀永刚 (170)
胜二区沙二段 9—10 砂层组油藏数值模拟研究	段志刚	张 昕	姜春艳	张 俊	(176)
松辽盆地三肇凹陷肇州油田州 603 水平井区剩余油分析	曹海涛				(182)
特低渗透油藏非线性渗流数值模拟研究	杨正明	于荣泽	刘先贵	张亚蒲	单文文 (189)
应用流线模拟方法提高水驱油田采收率	杨 双	李方明	张曙光	赵国良	(196)
油藏精细数值模拟技术在中—高含水阶段剩余油分布研究中的应用	刘英宪	张 俊	李其正	苏彦春	(202)

综 合 研 究

阿曼 D 油田碳酸盐岩储层裂缝预测与建模研究	赵国良	李方明	张建英	杨 双	(213)
安塞油田“三结合”剩余油研究技术	张 欢	刘新菊	王小军	李 莉	(222)
百口泉油田百 21 井区克下组砾岩油藏水淹特征	覃建华	屈怀林	朱亚婷	姚振华	(232)
滨南火成岩油藏高含水后期提高采收率研究	吕维刚	洪新林	衣 娜	郭丽华	(237)
车西地区下古生界储层裂缝类型与裂缝参数特征	李 茹	梁书义	王秀梅		(242)
埕东油田东区特高含水开发后期剩余油分布研究	范荣菊	陈国强	何 娟	苏红红	(250)
储层建筑结构研究方法与发展趋势				郭长春	(257)
大庆油田特高含水期厚油层剩余油分布与挖潜方式探讨	王 瑞	张 熠	于婉秋		(263)
低渗透裂缝型储层剩余油预测方法研究	董 玲	李云珍	于开君	于广文	(269)
东辛复杂断块油藏高含水期剩余油分布规律研究	梁承春	王洪宝	杨 勇	张进平	(277)
复杂河流相多油水系统稠油油田高含水期剩余油研究	葛丽珍	杨庆红	刘 英	廖新武	李廷礼 秦 薇 徐玉霞 (284)
港西一区一断块高含水期精细化挖潜的实践与认识	王喜梅	张 津	魏玉红	干红霞	(289)
高含水油抽油机井分层配产挖潜技术研究	张广超	徐德奎	郭 颖	张玉坤	(296)
高含水油田水平井开发特征及提液时机优化研究	王锦芳	李凡华	高小翠	胡永乐	(300)
孤岛油田特高含水期储层剩余油精细描述	束青林	张本华	毛卫荣	王 宏	(307)
海上油田高含水期剩余油分布及调整挖潜技术研究	郑 旭	赵春明	王世民	雷 源	(314)
河流相储层流动单元与剩余油分布研究	齐陆宁	杨少春	崔建国	刘 芳	(320)

厚油层顶部水平井流场特征及开发规律研究	唐文峰	匡 铁	李棕楠	魏长清	(326)
基于储集层非均质综合指数的剩余油预测方法研究	刘 卫	林承焰	余成林	潘振全	(330)
基于流动单元的剩余油分布研究	梁杰锋	张辉松	冉祝荣	王 涛	叶 欢 (336)
喇嘛甸油田储油层大孔道综合识别技术	王春燕	侯云福	刘宪伟		(344)
陇东侏罗系油藏提高采收率技术研究	马振昌	佟晓华	王联国	杨焕英	(351)
马岭油田北三区高含水期剩余油分布规律研究及措施挖潜	红 岩	杨轶锐	李兆明	侯宝成	(356)
码头庄油田庄2块开发中后期剩余油分布规律研究	陈 军	蔡新明	汪嘉月		(365)
曲流河砂体剩余油预测方法及分布规律	朱丽红	魏丽影	杜庆龙		(372)
砂体形态与剩余油研究的几点认识	朱亚婷	覃建华	屈怀林		(379)
单10块稠油油藏剩余油分布研究及应用	谢凤猛	朱孟高	孙洪卫	刘龙军	(386)
实际储层油水相对渗透率曲线的建立及应用研究	郭伟峰	张云杰	杨明强	宋德云	(391)
水平井开发油藏中后期挖潜探索与实践	任今明	韩易龙	何新兴	伍轶鸣	张 媛 (397)
水驱特征曲线在低渗透中高含水储层剩余油分布研究中的应用	赖南君	叶仲斌	舒 政	戴达山	(401)
水驱油田高含水期开发指标预测新方法	王继美	郑洪印	李 玉		(407)
水网地区裂缝油藏的剩余油分布	黄艳梅	解金凤	屈 宏		(412)
水淹层导电机理分析与测井电阻率—饱和度模型建立	王国庆	张云杰	楚天祥	沈金松	(418)
特高含水期油藏开发方案效果跟踪评价技术研究	武 玺	王宏伟	陈子香	庞道红	(425)
西峰油田白马中区长8特低渗油藏注采渗流形态研究	易 红	王胜华	张莲忠	成良丙	(430)
下二门油田中层系剩余油分布及注采井网综合调整研究	张海锋	刘峥君	王文升	张连锋	(435)
一次加密井网层系互换进行剩余油挖潜可行性分析	叶 鹏	王志新	宋金艳	梁晓江	(441)
桩1块馆陶组边底水油藏高含水储层剩余油分布研究及水平井提高采收率技术对策	马永达	赵 磊	王家在	晋晚会	(447)
桩斜139深层稠油油藏特高含水期剩余油分布研究	马永达	赵 磊	何富强	张路林	(452)

实验研究

薄层底水油藏水驱渗流机理及渗流规律研究

王锦芳¹ 胡永乐¹ 张啸枫² 刘卫东³

(1 中国石油勘探开发研究院; 2 中国石油天然气股份有限公司对外合作经理部;
3 中国石油新疆油田公司风城油田作业区)

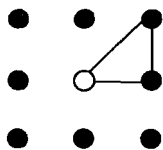
摘 要: 陆梁油田属于薄层、低幅度、高渗透底水油藏。水驱开发过程中出现的最大问题是: 底水层成为水窜的主通道, 含水上升极快。如何控制水窜, 降低产出液含水, 避免注入水无效循环是急需解决的问题。从理论研究和实验研究出发, 将二者的研究成果相互印证, 初步获得了薄层底水油藏水驱渗流机理及渗流规律。

关键词: 薄层底水油藏 相似准则 实验研究 渗流规律

薄层底水油藏水驱开发过程中出现的最大问题是: 底水层成为水窜的主通道, 含水上升极快。如何控制水窜, 降低产出液含水, 避免注入水无效循环是急需解决的问题。为了控制水窜, 降低产出液含水, 通过理论研究和实验研究相结合的方法可以获得陆梁油田薄层底水油藏水驱渗流机理及渗流规律, 为能够长期高效合理开发陆梁薄层底水油藏, 实现油田长期稳油控水目标提供科学依据。

1 理论研究

基于陆梁油田的地质开发特征以及影响陆梁油田水驱渗流规律的主要因素, 建立起考虑重力和毛细管力下的三维两相数学模型。选取反九点面积注水井网的一个注采单元作为我们的渗流模型 (图 1、图 2 和图 3)。注水井位于 $A(0, 0, 0)$, B 点 $(L, 0, 0)$ 和 C 点 $(L, L, 0)$ 为采油井, 对于反九点的井网情况, A 点的注水量为原型井实际注入量的八分之一, B 点的产油井的产量为原型井实际产量的四分之一, C 点的产油井的产量为原型井实际产量的八分之一。



● 生产井
○ 注水井
图 1 反九点井网



图 2 反九点注采单元

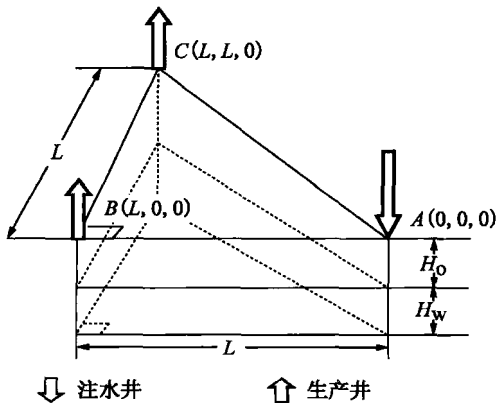


图 3 实验模型示意图

本文基于如下假设^[1]：①驱替过程是等温的；②油水两相不混溶，达西定律对油水两项分别成立；③地层是均质和等厚的；④流体和地层微可压缩；⑤油水黏度分别保持不变；⑥束缚水饱和度和残余油饱和度在全流场是均匀的。

于是建立起考虑重力和毛细管力^[2]下的三维两相数学模型。

1.1 连续性方程

(1) 油相。

$$\nabla(\rho_o v_o) + \frac{\partial(\phi \rho_o S_o)}{\partial t} + \bar{Q}_o = 0 \quad (1)$$

其中：

$$\begin{aligned} \bar{Q}_o = & \frac{\rho_o q_B}{4} [1 - f_w(x_B, y_B, z_B, t)] \cdot \delta(x - x_B) \delta(y - y_B) \delta(z - z_B) + \\ & \frac{\rho_o q_C}{8} [1 - f_w(x_C, y_C, z_C)] \cdot \delta(x - x_C) \delta(y - y_C) \delta(z - z_C) \end{aligned}$$

(2) 水相。

$$\nabla(\rho_w v_w) + \frac{\partial(\phi \rho_w S_w)}{\partial t} + \bar{Q}_w = 0 \quad (2)$$

其中：

$$\begin{aligned} \bar{Q}_w = & \frac{\rho_w q_B}{4h} \delta(x) \delta(y) \delta(z) + \frac{\rho_w q_C}{8h} \delta(x) \delta(y) \delta(z) + \\ & \frac{\rho_w q_1}{4h} [f_w(x_B, y_B, z_B, t) \cdot \delta(x - x_B) \delta(y - y_B) \delta(z - z_B)] \end{aligned}$$

1.2 运动方程

(1) 油相。

$$v_o = -\frac{K_o}{\mu_o} \nabla \psi_o \quad (3)$$

$$\psi_o = p_o + \rho_o g z \quad (4)$$

(2) 水相。

$$v_w = -\frac{K_w}{\mu_w} \nabla \psi_w \quad (5)$$

$$\psi_w = p_w + \rho_w g z \quad (6)$$

1.3 状态方程

(1) 油相。

$$\rho_o = \rho_{oi} [1 + C_o(p_o - p_{oi})] \quad (7)$$

(2) 水相。

$$\rho_w = \rho_{wi} [1 + C_w(p_w - p_{wi})] \quad (8)$$

(3) 固相。

$$\phi = \phi_i [1 + C_\phi(p_w - p_{wi})] \quad (9)$$

1.4 其他附加方程

(1) 饱和度方程。

$$S_w + S_o = 1 \quad (10)$$

(2) 毛细管力方程。

$$p_c = p_w - p_o = r \cos \theta \sqrt{\phi/kJ} (S_w) \quad (11)$$

1.5 初始条件和边界条件

(1) 边界条件。

$$\left. \frac{\partial p}{\partial n} \right|_{\text{在边界上}} = 0 \quad (12)$$

$$S_w = \begin{cases} 1 \rightarrow (x_A, y_A, z_A); z < h_w \\ S_{wC} \rightarrow (x_C, y_C, z_C) \\ S_{wB} \rightarrow (x_B, y_B, z_B) \end{cases} \quad (13)$$

(2) 初始条件。

$$\begin{aligned} p(x, y, z, t=0) &= p_i(x, y, z) \\ S_w[x, y, z(z > h_w), t=0] &= S_{wi}(x, y, z) \\ S_w[x, y, z(z < h_w), t=0] &= 1 \end{aligned} \quad (14)$$

先采用方程分析法进行分析，再通过 π 定理进行讨论，便可以简化得出如下 7 个相似准则：

$$\pi_1 = h_D = h_o / (h_o + h_w) \quad (15)$$

π_1 的物理意义：它是一个几何相似自变量。其作用是已知一个油藏的打开厚度，换算和匹配实验模型的高度。

$$\pi_2 = H_{oD} = h_o / H_o \quad (16)$$

π_2 的物理意义：它是一个几何相似自变量。其作用是已知一个油藏的油层厚度，换算和匹配实验模型的油层厚度。

$$\pi_3 = H_{wD} = h_w / H_w \quad (17)$$

π_3 的物理意义：它是一个几何相似自变量。其作用是已知一个底水油藏的水层厚度，换算和匹配实验模型底水的水层厚度。

$$\pi_4 = \bar{M} = \frac{\mu_w K_{ocw}}{\mu_o K_{wto}} \quad (18)$$

π_4 的物理意义：它是一个相似参量，是残余条件下油水流度比。其作用是已知一个系统的残余流度，换算和匹配另一个系统的残余流度。

$$\pi_5 = p_{wD} = \frac{\Delta p_w}{q \mu_w / h_o K_{wto}} \quad (19)$$

π_5 的物理意义：它是一个相似因变量，是习惯上常用的无量纲压力，参考量为单位厚度地层流量 q/h_o 。除以残余油下水的流度 K_{wto}/μ_w 。其作用是确定模型与原型之间压差的换算关系。

$$\pi_6 = t_D = \frac{qt}{\phi h_o L^2 (1 - S_{cw} - S_{ro})} \quad (20)$$

π_6 的物理意义：它是一个时间相似变量，其分子为注入水体积，分母为地层中最大限度可能增加的水体积。其作用是确定模型与原型之间的时间比或流量比。

$$\pi_7 = \bar{S}_w = \frac{S_w - S_{cw}}{1 - S_{cw} - S_{ro}} \quad (21)$$

π_7 的物理意义：它是一个相似因变量，是地层中水饱和度实际增量与最大可能增量之比，称为折算饱和度。其作用是确定模型与原型之间饱和度的换算关系。

应用上面 7 个相似准则, 就可以对实验进行指导, 完成原型和模型之间的转换。对于大量的数据处理可以通过编制软件来完成。

2 实验研究

基于推出的 7 个相似准则以及影响陆梁油田水驱渗流规律的主要因素, 笔者提出 9 个实验方案 (表 1), 分别讨论注入速度和底水层厚度对实验结果的影响大小, 并从中获得薄层底水油藏水驱渗流规律^[3]。

表 1 实验方案表

$H_w : H_o$	$v_{\text{注}}$ (mL/min)	实验方案
0 : 1	2	方案 1
	4	方案 2
	6	方案 3
1 : 2	2	方案 4
	4	方案 5
	6	方案 6
2 : 1	2	方案 7
	4	方案 8
	6	方案 9

其中选取注入速度 $v_{\text{注}}$ 为 4mL/min 时不同油水层厚度比下的实验结果和 2/3 底水模型不同注入速度下的实验结果进行分析, 从而分别讨论注入速度和底水层厚度对实验结果的影响大小, 并从中获得薄层底水油藏水驱渗流规律。

2.1 不同油水层厚度比的影响

从图 4 和图 5 中, 不难看出: 不同的油水层厚度比对薄层底水油藏水驱渗流规律的影响还是比较大。底水层越厚, 油井见水时间越早, 含水率上升越快, 而且含水率在一开始的时候也就越高。而注入速度较小时 (如注入速度为 2mL/min), 不同的油水层厚度比对含水率的影响显得不太明显。

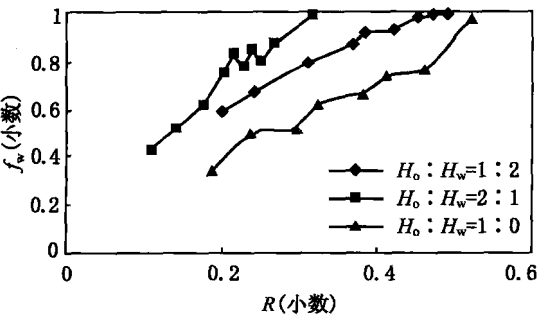


图 4 注入速度 4mL/min 时不同厚度比下 f_w — R 关系曲线

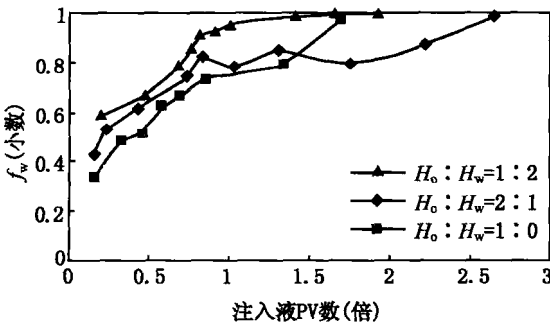


图 5 注入速度 4mL/min 时不同厚度比下 f_w —PV 曲线

2.2 不同注入速度的影响

从图 6 和图 7 中可以看出：注入速度越大，相应的含水率上升越快。在注入速度较大时，含水率上升很快，而且很快就上升到 90% 以上。 f_w —PV 数据关系曲线可以通过相似准则来反求现场油田注入水量。

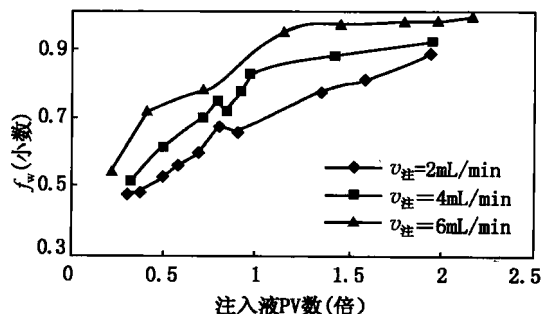
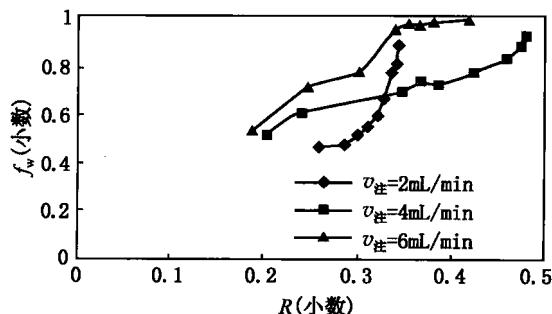


图 6 2/3 底水时不同注入速度下的 f_w — R 关系曲线 图 7 2/3 底水时不同注入速度下 f_w —PV 关系曲线

3 结 论

根据理论研究，结合实验数据的认识，得出如下结论：

(1) 选取反九点面积注水井网的一个注采单元作为实验地质模型，建立了考虑重力和毛细管力的作用下的三维两相渗流数学模型。先利用方程分析法进行相似准则推导，再采用 π 定理进行讨论，最后对相似准则进行简化处理。最后简化得出 7 个相似准则。

(2) 文中给出的相似准则所含无量纲乘积 (π) 个数少，物理意义明确，数据换算清楚。从相似准则组合中可以看出与实验结果相吻合的渗流规律。

(3) 实验研究主要以注入速度和油水层厚度比两个参量开展，实施了 9 个实验方案，做了许多组重复试验，初步获得薄层底水油藏的水驱规律。

(4) 通过 f_w — R 关系曲线和 f_w —PV 关系曲线的绘制，分析得出薄层底水油藏的水驱渗流规律。采出液含水不是一开始就很高或达到 100%，而是在原油采收率很低时骤然上升，形成注水开发的低效或无效循环。注入速度越大，底水锥上升越快，含水率上升越快；油水层厚度比越小，底水越厚，在见水时含水率也就越大，含水率上升也越快，于是很快进入水驱低效或无效循环阶段。

符号注释：

ρ_o, ρ ——分别为油、水的密度；

ρ_{o1}, ρ_{w1} ——分别为参考点状态下油、水的密度，可取原始状态下的油、水密度；

v_o ——流体的渗流速度分量；

ϕ ——介质的孔隙度；

ϕ_1 ——参考点的介质孔隙度，可取原始状态下的介质孔隙度；

S_o, S_w ——分别为含油、含水饱和度；

t ——时间；

$\bar{Q}_w, \bar{Q}_o$ ——源汇项；

q_B, q_C, q_I ——分别为 B 井、C 井及注入井流量；
 f_w ——水的分流量，亦是生产井中含水率；
 δ ——Dirac δ 函数；
 $x_B, y_B, z_B, x_C, y_C, z_C$ ——分别为 A、B、C 点坐标，亦是油水井坐标；
 K_o, K_w ——分别为油、水相的渗透率；
 μ_o, μ_w ——分别为油、水相的黏度；
 ∇ ——傅里叶函数；
 Ψ_o, Ψ_w ——分别为油、水相势函数；
 p_o, p_w ——分别为油、水相的压力；
 p_{o1}, p_{w1} ——分别为参考点状态下的油、水相的压力；
 z ——纵向坐标，亦是油藏深度；
 C_o, C_w, C_s ——分别为油、水、固相的压缩系数；
 p_c ——毛细管压力；
 γ ——界面的比自由能；
 θ ——接触角；
 $J(S_w)$ ——修正的 Leverret J 函数；
 S_{rw}, S_{ro} ——分别为束缚水、残余油饱和度；
 K_{orw}, K_{wro} ——分别为束缚水条件下油相和残余油条件下水相的渗透率；
 h_o, h_w ——分别为油藏概念中的油、水层厚度；
 H_o, H_w ——分别为实验模型中油、水层厚度；
 L ——实验模型长度。
 (注：本文中的符号用于理论推导，未给出单位注释)

致谢：感谢西南石油大学唐海、舒云德和祝玉培等老师在实验方面的帮助。

参 考 文 献

- [1] 孔祥言，等．水驱油物理模拟理论和相似准则 [J]．石油勘探与开发，1997，24 (6)：56-60.
- [2] 谢道夫．力学中的相似方法与量纲理论 [M]．北京：科学出版社，1982.
- [3] 葛家理．油气田渗流力学基础 [M]．北京：石油工业出版社，1982.

超高含水阶段改善水驱油的实验及 可采储量计算*

沈 思¹ 程时清¹ 郑春峰¹ 张海锋²

(1 中国石油大学(北京)石油工程教育部重点实验室;

2 中国石化河南油田分公司勘探开发研究院)

摘 要: 提出了超高含水的概念,开展了超高含水阶段的水驱油实验,通过三组低、中、高渗透率岩心在不同速度下的驱替实验,研究超高含水阶段不同注入倍数和不同注入速度条件下驱油效率的变化规律,并计算了不同油价下的极限含水率。结果表明,目前油价下的极限含水率已经超过 98%,且含水高于 98%时,驱油效率仍可提高 3%以上,可采储量和采收率等仍有一定的提升空间。高含水的油田仍有较大挖潜余地。

关键词: 水驱油实验 剩余油 驱油效率 含水率 可采储量

我国大部分油田采用注水开发,目前普遍进入高含水阶段,弄清高含水阶段水驱油机理、油藏剩余油饱和度的分布及其变化规律是二次、三次开发设计的中心问题。目前国内的岩心实验尚未对高含水阶段水驱油机理进行深入的研究。Stalkup 等人通过大量实验发现,高含水饱和度增加了分支流道的含油量^[1]。Rathmell 等人发现,在低黏度条件下,常规的岩心实验能为大多数水湿砂岩油藏提供可靠的剩余油饱和度数据^[2]。

另一方面,目前的水驱油实验普遍针对综合含水低于 98%的情况,普遍的观点也把 98%作为含水的经济极限。所谓经济极限含水,是指当油田或油井开发到一定阶段,投入和产出达到平衡时的含水率,含水如再升高,就没有利润^[3~6]。随着技术的发展和油价的走高,仍然用 98%作为极限含水率,已经不适用开发需要。实际上即使油田含水高于 98%,很多油藏地层剩余油饱和度仍在 50%以上,这类油田仍然有很大的潜力。国内尚无关于含水大于 98%阶段驱油机理、可采储量等方面的研究,因此弄清高含水阶段的水驱油机理,对于老油田提高二次开发效果具有重要的理论和实际意义。

下二门油田下层系Ⅱ2断块储层孔隙度为 11.0%~19.6%,平均气测渗透率为 0.716D。孔喉分选较差,均值低,孔隙分布不均匀,宏观上,渗透率纵、横级差大,储层非均质性严重。目前该区块采出程度为 42.26%,采油速度为 1.07%,综合含水率为 93.8%。虽然采出程度达到 42.26%,开发效果较好,但区块内剩余油分布极其复杂,开发难度越来越大,在高采出、高含水、低效开发情况下,如何更好地解决以上矛盾,提高主力砂体开发效果是迫切需要解决的难题。

本文对下二门油田下层系Ⅱ2断块岩心进行超高含水阶段水驱油实验研究,通过不同渗

* 基金项目:该文受国家 863 国家高技术研究发展计划“特殊结构井开发油藏工程技术”资助(合同编号:2006AA09Z338)。