

二元复合体系微观驱油机理可视化实验

张明安

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要:针对胜利油区油藏条件,运用新型表面活性剂—聚合物二元复合体系,对其开展了微观模型(岩心薄片)驱油和常规柱状岩心可视化驱油实验。以水驱效果为基础,对比了表面活性剂、聚合物、二元复合体系的驱油效果,重点研究了微观孔隙中表面活性剂、聚合物以及二元复合体系的洗油和携油性能及其在驱油过程中的微观渗流特征,深入分析了二元复合体系的微观驱油机理。结果表明:与聚合物和表面活性剂相比,二元复合体系的驱油效果更好。在岩心薄片可视化驱油实验中,由于3种不同的驱替溶剂波及效率不同,最终导致驱替结束后岩心薄片中剩余油的面积有所不同,采用二元复合体系驱替后,剩余油的面积最小,表明其驱油效率最高,比聚合物和表面活性剂的驱油效率分别提高了2.59%和11.80%;对于常规柱状岩心,二元复合体系比聚合物和表面活性剂的驱油效率分别提高了1.43%和20.70%。

关键词:二元复合体系 微观驱油 渗流机理 可视化 表面活性剂驱 聚合物驱

中图分类号:TE357.43

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2013)03-0079-04

目前,关于表面活性剂—聚合物二元复合体系(简称二元复合体系)微观驱油机理的研究已有大量报道^[1-10]。杨风华开展了二元复合体系性能评价的实验研究,并通过岩心薄片的微观实验研究了二元复合体系的驱油机理^[11]。熊生春等利用核磁共振 T_2 谱与恒速压汞微观孔隙测试相结合的方式进行了研究,分析了岩心束缚水状态含油饱和度分布及残余油分布规律,发现在较高压力梯度下,经二元复合体系驱替后,低渗透岩心中细微孔隙残余油较少,高渗透岩心中的较大孔隙残余油较多^[12]。姜振海针对大庆油区研制的新型二元复合体系,开展了微观仿真模型驱油实验和岩心驱油实验,研究了二元复合体系界面张力和乳状液的含水率对其驱油效果的影响规律^[13]。Hamid等通过岩石微观实验研究了岩石孔道的形态和润湿性对二元复合体系驱油效率的影响,结果表明,水湿和混合润湿性岩心中二元复合体系的驱油效率比油湿岩石中的驱油效率高^[14]。但是,均未对二元复合体系的微观可视化驱油机理进行深入研究^[11-14]。因此,笔者重点针对油藏微观孔隙中表面活性剂、聚合物和表面活性剂—聚合物二元复合体系的洗油和携油性能,利用真实岩心刻蚀并磨成岩心薄片,在保持岩心各类

性质不变的情况下,通过显微镜和图像数据采集与处理系统研究了表面活性剂、聚合物和二元复合体系驱油过程中的微观渗流特征,阐明了二元复合体系的微观驱油机理,为二元复合体系大规模矿场试验提供依据。

1 实验准备

1.1 实验样品及装置

实验样品包括微观模型样品、地层水、表面活性剂和聚合物。微观模型样品的制备步骤:①将选取的孤岛油田GN301井岩心用石油醚和乙醇清洗干净;②参照岩心常规分析方法^[15],测得岩心样品的渗透率为 $12.26 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度为20.10%;③根据微观实验要求,模型的长度、宽度和高度分别为3.0、2.0和0.2 cm,即岩心薄片,烘干待用。地层水根据现场提供的水样分析结果配制而成。油样为现场取得的分离器油。表面活性剂包括SYPS-3石油磺酸盐和NG3磺酸盐等;聚合物为聚丙烯酰胺;二元复合体系由质量分数为0.4%的表面活性剂和质量浓度为5 000 mg/L的聚合物混合而成,其质量浓度为2 000 mg/L。

收稿日期:2013-03-19。

作者简介:张明安,男,高级工程师,博士,从事油气田开发方面的研究。联系电话:(0546)8716263,E-mail:zhangmingan.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“胜利油田特高含水期提高采收率技术”课题四“高温高盐油田化学驱提高采收率技术”(2011ZX05011-004)。

实验装置由驱替泵、特制的可视化高压岩心夹持器、显微镜和图像数据采集与处理系统等组成,用于真实岩心微观驱油机理的研究,并对整个驱替过程进行实时动态录像观测。该装置的图像数据采集与处理系统放大倍率为3.75~540倍。

1.2 实验步骤

实验步骤包括:①将特制的微观模型样品(岩心薄片)装入可视化高压岩心夹持器中,加围压,测试该系统的密封性,抽真空并饱和地层水,建立原始含水饱和度;用配制好的地层流体驱替地层水,建立原始含油饱和度和束缚水饱和度,获得油和束缚水分布图像(图1)。②测定微观模型原始含水面积和原始含油面积,确定原始含水面积百分数和原始含油面积百分数,原始含水面积百分数与束缚水含油面积百分数之差为原始含油面积百分数。③在注入速度为0.125 mL/min的条件下开展表面活性剂驱油实验,选取同一个放大的网格连续摄像并进行典型图像定格,观察表面活性剂驱油动态过程。当出口端所出液体全部为表面活性剂时,驱油结束,对模型选定区域摄像,进行图像识别、定格、分析表面活性剂微观驱油机理。④将岩心薄片再用石油醚和乙醇清洗干净,重复步骤①。分别进行聚合物、二元复合体系驱油实验,当出口端所出液体

全部为聚合物或者二元复合体系时,驱油结束,用步骤③的方法观察驱油动态过程并分析驱油机理。

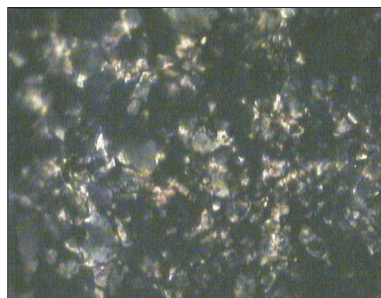
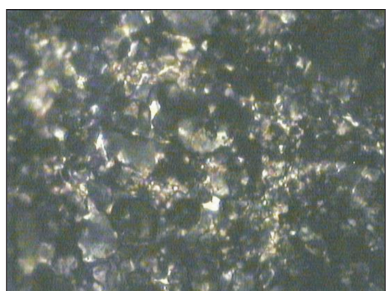


图1 岩心薄片油和束缚水分布
透亮处为以饱和地层水为主的部分,黑色主要为含油部分

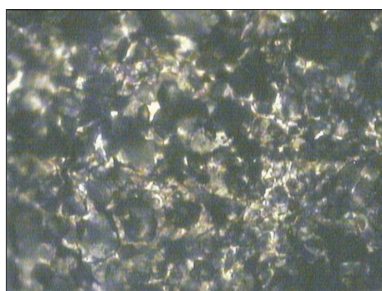
2 实验结果分析

2.1 驱油效果

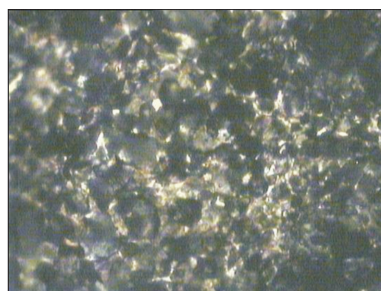
应用微观可视化模拟技术,采用微观驱油动态彩色图像量化处理系统,将照相、摄像和量化分析(如分维数测量、网格法和辅助线法)等手段结合起来,对3种驱替方式的直观图像进行定量化处理,即统计实验结束后岩心薄片油水分布(图2)中透亮处的面积,可以看出透亮处面积由小到大依次是表面活性剂驱后(图2a)、聚合物驱后(图2b)和二元复合



a—表面活性剂驱后



b—聚合物驱后



c—二元复合体系驱后

图2 不同驱替方式下岩心薄片油水分布

透亮处为以饱和地层水为主的部分,黑色主要为含油部分

体系驱后(图2c),表明二元复合体系驱替时的波及面积大于聚合物和表面活性剂驱替时的波及面积,由此可见,二元复合体系驱替效率高,洗油效果好。再结合实验图像静态资料测得的数据,根据驱油效率的定义^[16]可得到岩心薄片的驱油效率,其表达式为

$$E_R = \frac{A_{swor} - A_{sor}}{A_{swor}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: E_R 为驱油效率,%; A_{swor} 为原始含油面积百分数; A_{sor} 为残余油含油面积百分数。

应用式(1)计算岩心薄片表面活性剂的驱油

效率为40.73%;聚合物的驱油效率为49.94%;二元复合体系的驱油效率为52.53%,驱油效率相对于表面活性剂和聚合物分别提高了11.8%和2.59%。由此可见,二元复合体系的微观驱油效果最好。

2.2 可视化微观渗流特征

通过微观可视化实验发现,在表面活性剂驱替过程中,开始时油水以连续状态分布,随着表面活性剂先进入较大的孔道,降低了油水界面张力,渐渐地驱走了较大孔道中的剩余油,在孔道壁上留下一层油膜(图3a);在表面活性剂继续前行的过程中,渐渐地部分剩余油乳化,乳化后的剩余油一

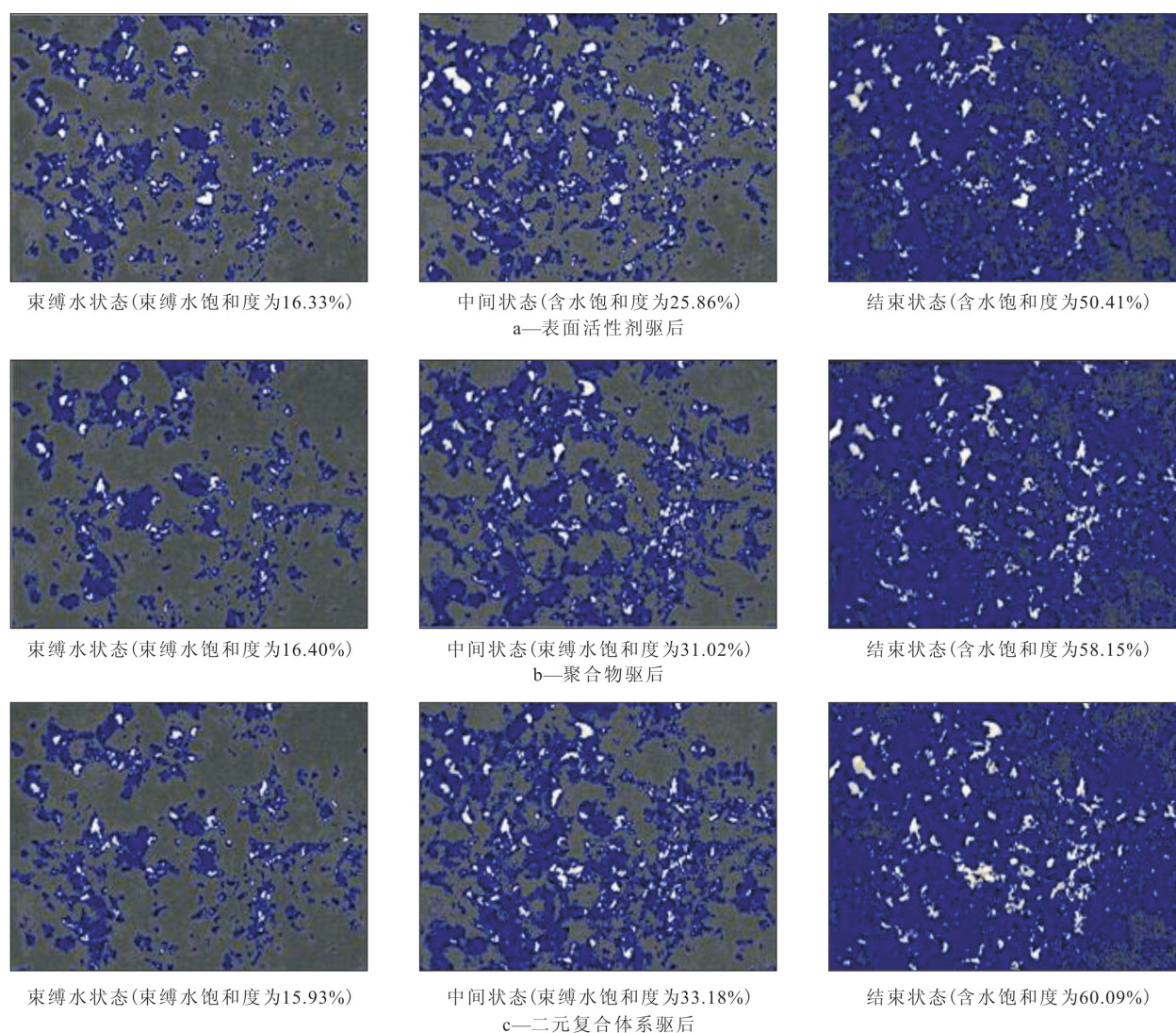


图3 3种驱替方式下水分布及面积含水变化规律

黑色为油,蓝色为水

般以油包水的形式运移,而活性水溶液则占据了剩余油之前所占据的孔隙空间中部,这些孔隙空间的周边部分与孔隙壁接触的地方仍然留有油膜,即在孔隙空间中也形成油包水的现象,尤其是较大的孔隙中该现象更明显,导致了大量的残余油以油膜和油丝的形式残留在孔道中。在聚合物驱替过程中,开始时油水以连续状态分布,随着聚合物进入并以水泡状前进且逐渐增多,聚合物的水泡也渐渐汇合在一起,成为一股液流,沿中轴部位驱替(图3b),由于聚合物提高了油水界面的粘度,改善了流度比,携带并驱替了更多附在孔道壁上的原油,随着聚合物的注入和聚合物携带原油的增加,有一些孔道壁上的油膜越来越厚,最后孔道两边的油膜汇集到一起,由聚合物液流活塞式驱替前进;有一些孔道壁上的油膜从油水流动的下游部分拉出很长的油丝,有时会搭成油桥,使油沿油桥流动;还有一些孔道

壁的润湿性发生反转,聚合物液流得以将孔道壁上的油膜剥蚀下来,这些被剥蚀下来的油汇集在一起,形成较大的油块在聚合物液流中漂浮前行;在通过较小孔道到达较大孔隙空间(例如几个孔道的交汇点)的地方,当油还未大量汇集时,油就会以小油滴的形式,如子弹般从小孔道射出,悬浮在大孔隙空间中,而当小孔道中的油大量汇集,液流从小孔道进入大孔隙空间形成一个包裹有厚油膜的水泡,在大孔隙空间中漂浮前行,并能灵活地根据通道的宽窄改变自身的形状,通过孔道,并携带更多孔道壁上的剩余油,这导致聚合物的驱油效果优于表面活性剂驱。二元复合体系结合了表面活性剂的乳化作用和聚合物的携带作用,两者协作的结果是使驱替的通道比之前任何一种单一驱替剂所流过的通道都更宽,驱油的过程也显得更顺利,且能连续驱替出更多的剩余油(图3c)。

2.3 常规岩心驱替实验对比

由于岩心薄片微观驱替实验可视化过程的图像处理不一定清晰。因此,须对图像进行预处理。预处理就是利用计算机对图像取样、量化以产生数字图像,对数字图像做各种变换等操作,除去无用信息,突出有用信息,以便得到清晰有效的图像,整个处理过程中可能产生较大的误差。因此,为了验证实验结果及规律的准确性,有必要在相同的实验条件下,将此实验结果与常规柱状岩心驱替实验结果进行对比。

在相同的全直径岩心上钻取1块圆柱状短岩心,将其清洗、烘干后,分别进行表面活性剂、聚合物和二元复合体系驱油实验。由表面活性剂、聚合物和二元复合体系驱油过程中注入孔隙体积倍数与驱油效率、产水率和剩余油饱和度的关系(表1)可以看出,二元复合体系的驱油效率最高,达到63.14%,聚合物次之,为61.71%,表面活性剂最低,为42.44%,与微观驱油机理得到的结果趋于一致。导致微观驱油效率与圆柱状短岩心驱油效率有所差距的原因,可能是图像处理技术中存在着偏差。

表1 表面活性剂、聚合物和二元复合体系驱油效果对比

驱替剂	最大注入孔隙 体积倍数	驱油效 率, %	产水 率, %	剩余油饱 和度, %
表面活性剂	10	42.44	99.74	37.76
聚合物	10	61.71	99.22	27.07
二元复合体系	10	63.14	99.97	26.12

3 结束语

微观岩心薄片和常规柱状岩心驱替可视化实验结果表明,二元复合体系兼有表面活性剂和聚合物双重效应,发挥了聚合物和表面活性剂的协同作用,因此,二元复合体系的驱油效率最高,聚合物次之,表面活性剂最低。常规柱状岩心驱油效率对比实验结果表明,二元复合体系的驱油效率与聚合物的驱油效率相当,未能显出二元复合体系的明显优势。因此,建议开展单管和并联双管长岩心(或填砂管)驱替实验研究,更为可靠地评价二元复合体系的驱油效果。

参考文献:

- [1] 吴文祥,刘万林,张栋.复合体系特性及驱油效果研究[J].科学技术与工程,2013,13(2):472-475.
- [2] 张新民,冯如森,宋新旺,等.胜利油区海上油田二元复合驱体系性能评价[J].油气地质与采收率,2011,18(5):48-50.
- [3] 杨常胜,唐力,李尧,等.无碱二元复合体系驱油特性研究[J].石油天然气学报,2012,34(1):142-145.
- [4] 董玲,张群志,李织宏,等.表面活性剂—聚合物二元复合体系评价指标探讨[J].油气地质与采收率,2011,18(2):52-54.
- [5] 吴文祥,张玉丰,胡锦涛,等.聚合物及表面活性剂二元复合体系驱油物理模拟实验[J].大庆石油学院学报,2005,29(6):98-100.
- [6] 董文龙,徐涛,李洪生,等.聚合物—表面活性剂二元复合体系微观及宏观驱油特征——以河南双河油田某区块为例[J].油气地质与采收率,2011,18(3):53-56.
- [7] 王中国,张继红,张志明,等.聚合物驱后凝胶与二元复合体系段塞式交替注入驱油效果[J].东北石油大学学报,2012,36(4):54-58.
- [8] 刘春天,李星.驱替体系的主要性质对驱油效率的影响[J].油气地质与采收率,2012,19(1):66-68.
- [9] Alireza Mollaei, Larry W Lake, Mojdeh Delshad. Application and variance based sensitivity analysis of surfactant-polymer flooding using modified chemical flood predictive model[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2011, 79(1-2): 25-36.
- [10] Hernandez C, Chacon L J, Anselmi L, et al. ASP system design for an offshore application in La Salina Field, Lake Maracaibo [J]. SPE 21188-MS, 2011.
- [11] 杨凤华.二元复合驱体系性能及微观驱油机理研究[J].石油地质与工程,2012,26(1):105-108.
- [12] 熊生春,孙军昌,何英,等.低渗透油藏二元复合驱微观机制研究[J].科技导报,2012,30(35):21-24.
- [13] 姜振海.表面活性剂/聚合物二元复合体系驱油效果研究[J].石油钻采工艺,2011,33(1):142-145.
- [14] Hamid Emami Meybodi, Riyaz Kharat, Majid Nasehi Araghi. Experimental studying of pore morphology and wettability effects on microscopic and macroscopic displacement efficiency of polymer flooding[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2011, 78(2):347-363.
- [15] 任义宽,高连云,王文录.SY/T 5336—1996 岩心常规分析方法[S].北京:石油工业标准化技术委员会,1996.
- [16] 秦积舜,李爱芬.油层物理[M].东营:中国石油大学出版社,2006.

编辑 刘北羿