

# Applied Research on Micro-Ball/Surfactant Combination Flooding in Upper Sha 2<sup>2+3</sup> in West Pucheng

Junyan Dong\*, Bin Wang, Mingjun Wei, Min Wang, Wen Shi, Yu Min

Petroleum Engineering Institute of Zhongyuan Oilfield, Puyang Henan

Email: \*djy1226@qq.com

Received: Aug. 31<sup>st</sup>, 2018; accepted: Sep. 14<sup>th</sup>, 2018; published: Sep. 21<sup>st</sup>, 2018

## Abstract

The upper sha 2<sup>2+3</sup> in west pucheng is in ultra-high water cut stage, and the study on micro-ball/surfactant combination flooding to enhance oil recovery is necessary. The research in lab shows that the interfacial tension (IFT) can reach 10<sup>-3</sup> mN/m between surfactant and oil of reservoir when concentration is 0.2% - 0.4%. It was studied to find the matching relationship between the diameter of micro-ball and the formation. When the ratio between the diameter of Micro-ball and the diameter of pore throat is 0.575 - 0.81, it can effectively block the formation. The initial particle size of Micro-ball is 0.932 μm and can reach 4.22 μm after expansion; this can adapt to the reservoir of upper sha 2<sup>2+3</sup> in west pucheng. The field tests show that combination flooding can remarkably enhance the recovery of oil in upper sha 2<sup>2+3</sup> in west pucheng, and then this technology can be applied to other similar oil reservoir.

## Keywords

Micro-Ball/Surfactant Flooding, Enhance Oil Recovery, Compatibility, Zhongyuan Oilfield

# 濮城西区沙二上<sup>2+3</sup>油藏微球/表面活性剂复合驱应用研究

董俊艳\*, 王 斌, 魏明军, 王 敏, 施 文, 闵 玉

中原油田分公司石油工程技术研究院, 河南 濮阳

Email: \*djy1226@qq.com

收稿日期: 2018年8月31日; 录用日期: 2018年9月14日; 发布日期: 2018年9月21日

\*通讯作者。

文章引用: 董俊艳, 王斌, 魏明军, 王敏, 施文, 闵玉. 濮城西区沙二上<sup>2+3</sup>油藏微球/表面活性剂复合驱应用研究[J]. 化学工程与技术, 2018, 8(5): 310-315. DOI: 10.12677/hjct.2018.85039

## 摘要

濮城油田西区沙二上<sup>2+3</sup>油藏目前处于特高含水期,需开展微球/表面活性剂复合驱进一步提高采收率。室内研究表明:浓度为0.2%~0.4%时,研制的表面活性剂与濮城沙二上<sup>2+3</sup>原油界面张力达 $10^{-3}$  mN/m;研究微球粒径与地层匹配关系,微球粒径与孔喉直径之比为0.575~0.81时可对地层形成有效封堵;应用微球初始粒径0.932  $\mu\text{m}$ ,膨胀后4.22  $\mu\text{m}$ ,适应濮城西区沙二上<sup>2+3</sup>油藏。矿场实验表明,微球/表面活性剂复合驱能够大幅度提高濮城西区沙二上<sup>2+3</sup>油藏原油采收率,可进一步在同类油藏进行推广应用。

## 关键词

微球/表面活性剂复合驱,提高采收率,匹配性,中原油田

Copyright © 2018 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

## 1. 引言

濮城油田西区沙二上<sup>2+3</sup>油藏位于濮城构造西部,1981年10月投入开发,含油面积5.0 km<sup>2</sup>,石油地质储量 $870 \times 10^4$  t,可采储量 $265 \times 10^4$  t,采收率30.5%,标定采收率31.7%。储层平均孔隙度24%,平均渗透率 $143 \times 10^{-3}$   $\mu\text{m}^2$ 。目前产出水矿化度 $18 \times 10^4$  mg/L,钙镁离子5000 mg/L,地层温度82℃~85℃,属于中孔、中渗的高温高盐油藏。目前该油藏采出程度为28.88%,综合含水却达96.17%,综合含水与采出程度不匹配,需要进行提高采收率研究。但一方面该块层间隔层薄(平均隔层厚度为1.7 m),分层注水受到很大影响;另一方面层内非均质性强,高渗条带发育,严重制约油藏开发。

表面活性剂/微球复合驱的开展有助于提高洗油效率,调整地层非均质性,是高含水后期提高原油采收率的新技术。本文通过开展耐高温高盐的表面活性剂ZY-PX-SO<sub>4</sub>及微球在油藏的适应性及注入参数的研究,确定表面活性剂/微球复合驱技术在濮城沙二上<sup>2+3</sup>油藏的应用。

## 2. 实验材料和装置

实验材料:表面活性剂(南京石油化工股份有限公司提供)、微球(北京依科瑞能源有限公司)、注入水、地层水及原油。

实验装置:TX500C型旋转滴超低界面张力仪;马尔文Mastersizer3000型粒径分析仪;注水开发油藏物理模拟实验装置,常压~35 MPa,室温~160℃。

## 3. 实验结果与认识

### 3.1. 表面活性剂降低油水界面张力性能

根据油藏油、水质特点,由上海石油化工研究院研制、南京石油化工股份有限公司生产出阴-非离子表面活性剂ZY-PX-SO<sub>4</sub>。依据毛管数与驱油效率的关系,界面张力达到 $10^{-3}$  mN/m时,能够大幅度提高采收率[1]。

采用区块注入水配制不同浓度的表面活性剂溶液,在85℃,转速6000转/分条件下用TX-500C全自

动界面张力仪测定表面活性剂溶液与濮城西区沙二上<sup>2+3</sup>油藏原油的界面张力。

由图1可以看出, 由于表面活性剂的吸附和扩散的影响, 表面活性剂溶液与濮城2+3原油的界面张力随时间延长呈下降趋势。研究表明[2], 动态界面张力最低值与驱油效率的相关性更好, 因此, 本文以最低界面张力值为评价指标对表面活性剂进行评价。表面活性剂浓度为0.2%~0.4%时, 60 min内表面活性剂溶液与原油的瞬时界面张力均可达到 $10^{-3}$  mN/m, 满足超低界面张力的要求, 可以将残余油从地层剥离。

### 3.2. 微球与地层适应性评价

孔吼尺度微球是一种与储层岩石孔吼大小匹配的深部调驱剂, 当其存在于岩石空隙中时会对水流产生阻碍或封堵, 且数量庞大的微球在储层孔吼中具有运移、封堵、弹性变形、再运移、再封堵的全层运移特征, 从而实现其深部液流转向的目的。微球能进行有效调驱的关键是微球粒径与层层岩石孔吼间的匹配关系, 即微球既能对岩石孔吼进行有效封堵又能通过弹性变形在储层岩石中运移[3] [4] [5] [6] [7]。本部分通过研究微球在地层水中的膨胀性及与地层孔吼的配伍性来研究微球在濮城西区沙二上<sup>2+3</sup>油藏的适应性。

#### 3.2.1. 膨胀性能评价

为确定微球在油藏的膨胀性, 采用该油藏注入水配制浓度为2000 mg/L的微球溶液, 在85℃下恒温放置, 利用马尔文 Mastersizer 3000 粒度仪分别在1000转/分钟转速和超声+1000转/分钟转速下进行粒径分析。

由表1可知, 聚合物微球初始粒径中值为0.957  $\mu\text{m}$ , 溶胀10 d后, 1000转/分钟条件下粒径中值为345  $\mu\text{m}$ , 1000转/分钟 + 超声条件下粒径中值为4.22  $\mu\text{m}$ ; 分析认为聚合物微球在地层条件下可以发生水化膨胀, 在搅拌条件下微球彼此粘连, 形成粒径较大的球状体, 而搅拌+超声条件下彼此粘连的球状体分散开, 形成独立小球体存在, 此时测得粒径为聚合物微球的真实粒径, 微球膨胀倍数为4.23。

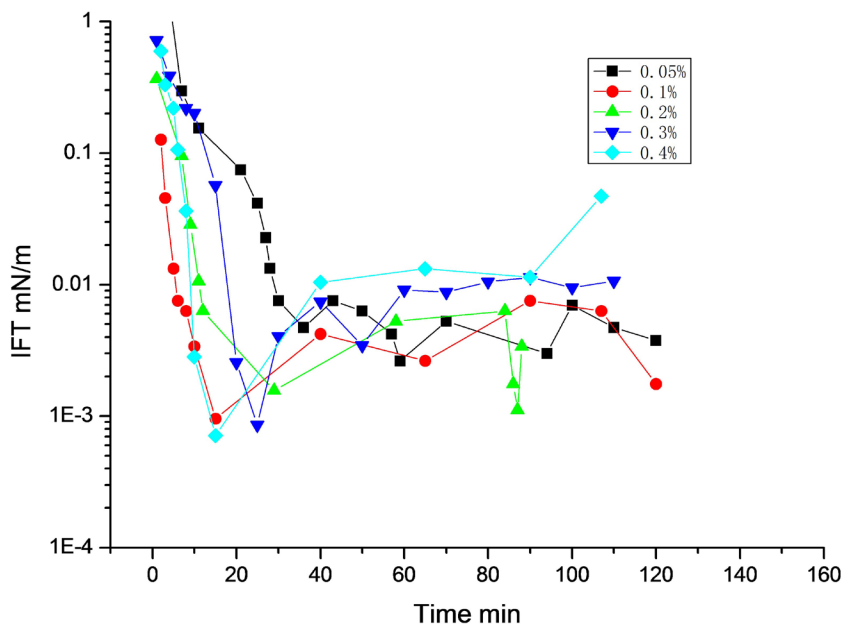


Figure 1. The interfacial tension curve of injected water mixed with different concentration of surfactant and Pucheng 2+3 crude oil

图1. 注入水配置不同浓度表面活性剂与濮城2+3原油界面张力曲线

### 3.2.2. 微球粒径与孔吼直径匹配关系研究

固体颗粒粒径只有与储层岩石孔喉直径相匹配才能发挥最佳效果，微球粒径太小，不能在孔喉处产生有效的物理封堵；微球粒径太大，能够运移至岩心深部的微球数量有限，最终均导致调驱效果不理想。当微球粒径与储层岩石孔喉相匹配时，封堵率和微球最大变形运移压力梯度才能达到最大。本文通过考察不同微球粒径与孔喉直径之比对微球调驱效果的影响，确定微球适应油藏。

选择渗透率不同的人造岩心 5 根，压汞法测空气渗透率、孔隙度、孔喉大小；分别以 0.5 mL/min 的速度饱和水，注入微球，然后放入 85℃ 烘箱中老化 5 天，继续注水，记录注入压力，计算阻力系数、封堵率。

由表 2、图 2 可知，微球粒径与孔喉直径之比为小于 0.81 时，阻力系数变化不大，说明微球未膨胀时可顺利通过孔吼；微球粒径与孔喉直径之比为大于 0.81 时，阻力系数迅速增大，微球形成端面堵塞，不能进入深部。微球膨胀后，封堵率随微球粒径与孔喉直径之比的增加先增大后减小，当微球粒径与孔喉直径之比为 0.575~0.81 时，封堵率可达到 80% 以上，符合现场封堵要求。这与报告中结论相似[8]。

微球膨胀后粒径为 4.22  $\mu\text{m}$ ，根据实验结果微球粒径与孔喉直径之比为 0.575~0.81 时，即地层孔吼直径为 5.2~7.3  $\mu\text{m}$  时均可形成有效封堵。濮城西区沙二上<sup>2+3</sup>油藏平均孔喉直径 7  $\mu\text{m}$ ，故该微球可以在濮城西区沙二上<sup>2+3</sup>油藏使用。

## 4. 现场试验情况

2013 年 12 月，在濮城西区沙二上<sup>2+3</sup>油藏濮 4 西部署微球/表活剂复合驱 2 井组，设计为 2 注 7 采。根据室内研究结果，依据体积法计算注入水波及到的孔隙体积，按照 0.3 PV 注入复合驱，微球与表面活性剂总段塞比为 1:1，每 90 天进行段塞交替。截至目前(2016 年 8 月)，累计注入调剖剂 21,730  $\text{m}^3$ ，微球 35,384  $\text{m}^3$ ，折合 118 t；表活剂 5842  $\text{m}^3$ ，折合 17.66 t。

实施复合驱后，实现了对层间非均质性的有效调整，注入压力提高。以新濮 2-89 井为例，该井措施前沙二上 3.3 吸水 100%，调剖后沙二上 2.6、2.6 + 7 及 3.3 小层吸水，剖面得到调整，注入微球后，吸水

Table 1. Results table of particle size analysis

表 1. 粒径分析结果表

D( $\mu\text{m}$ )初始	D( $\mu\text{m}$ ) 2d		D( $\mu\text{m}$ ) 10d		比例(%)
	1000 转/分钟	1000 转/分钟 + 超声	1000 转/分钟	1000 转/分钟 + 超声	
<0.632	<52.6	<2.72	<215	<2.84	10
<0.957	<92.5	<4.05	<345	<4.22	50
<1.44	<163	<5.95	<1230	<6.16	90

Table 2. Displacement experiment of the Micro-ball's adaptation to reservoir permeability

表 2. 微球适应油藏渗透率驱替实验

岩心编号	气相渗透率, mDc	孔隙度, %	$R_{\text{球}}/R_{\text{d}}$	封堵率, %	阻力系数
1	143	26.77	1.02	46.88	17.41
2	249	28.84	0.805	82.66	1.85
3	356	32.37	0.71	91.35	1.58
4	519	33.18	0.595	85.94	1.50
5	654	33.69	0.535	62.5	1.27

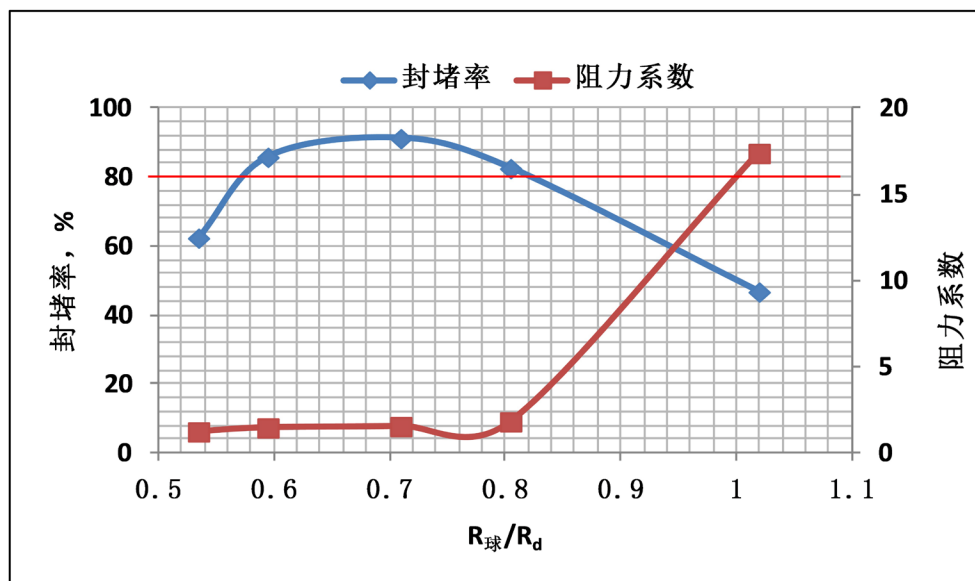


Figure 2. The curve of blocking rate of Micro-ball with the change of  $R_b/R_d$

图 2. 微球封堵率随  $R_{球}/R_d$  变化曲线

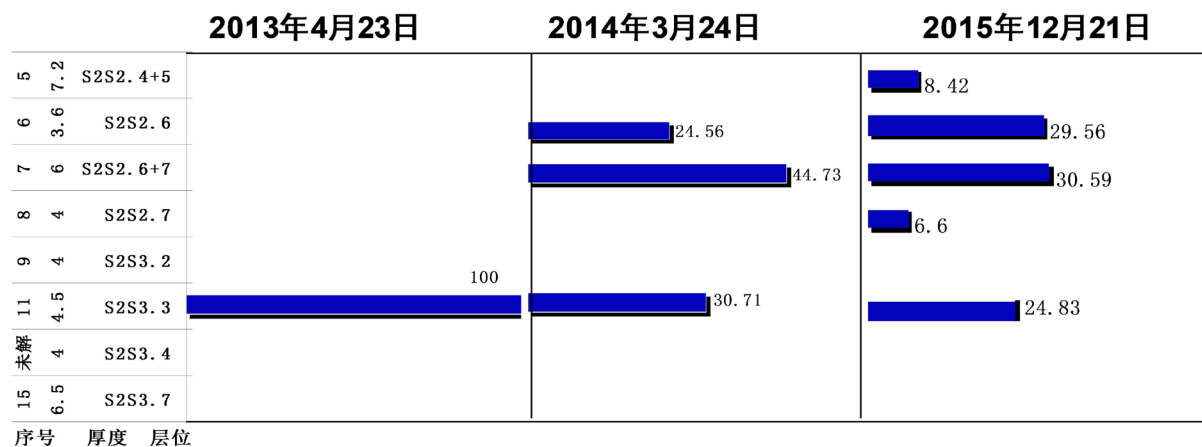


Figure 3. The injection profile before and after the bination flooding of the well of XP2-89

图 3. 新濮 2-89 井复合驱前后吸水剖面

层则变为 5 个，剖面得到进一步调整(图 3)。

对应油井 9 口相继见效，日产油由实验前 6.5 t 提高到 8.7 t，截止 2018 年 4 月 3 井组累计增油 3443 t，日最大增油 7.3 t(图 4)，增油效果明显。由于复合驱实施现场井况问题，增油量降低，目前复合驱日增油 2 t 以上。

## 5. 结论

- 1) 表面活性剂与濮城西区沙二上<sup>2+3</sup>油水适应性良好，使用浓度为 0.2%~0.4%使油水界面张力减低至  $10^{-3}$  mN/m；
- 2) 研究微球粒径与地层匹配关系，微球粒径与孔喉直径之比为 0.575~0.81 时可对地层形成有效封堵；
- 3) 现场应用微球粒径满足油藏孔喉大小要求，与表活剂复配后油水界面张力略有上升，形成复合驱体系配方为 0.3%表面活性剂+0.2%微球；

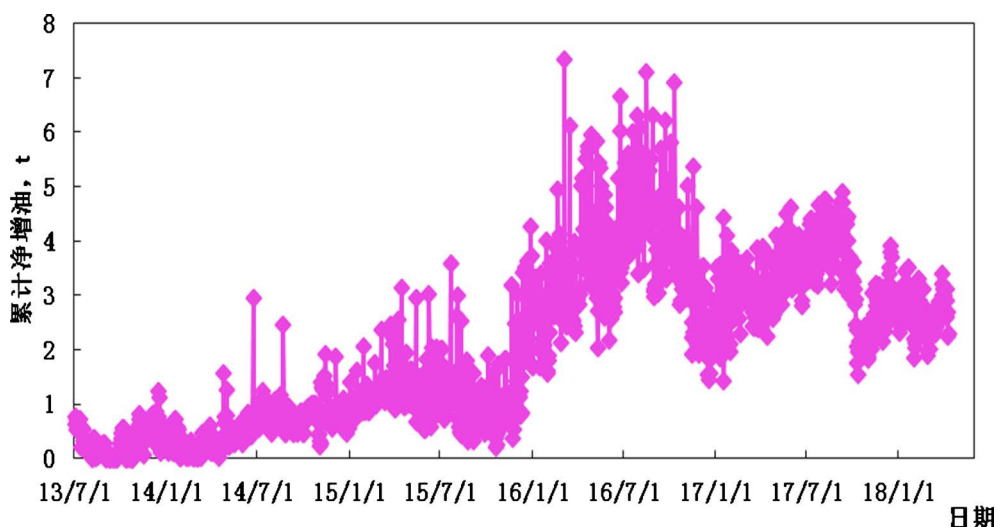


Figure 4. The production curve of the oil well corresponding to microsphere/surfactant composite flooding  
图 4. 微球/表面活性剂复合驱对应油井产油曲线

4) 现场实验表明, 微球/表面活性剂复合驱能够大幅度提高濮城西区沙二上<sup>2+3</sup>油藏原油采收率, 可进一步在同类油藏进行推广应用。

### 基金项目

中石化科研项目“中原濮城西区 2+3 区块表面活性剂工业应用试验”(编号: 2013068)及中原油田分公司油温气升项目“表面活性剂复合驱及流度控制技术研究”(编号: 2013YWQS05-2)。

### 参考文献

- [1] 郭东红, 辛浩川, 崔晓东, 等. 新型耐温耐盐表面活性剂驱油体系的研究[J]. 精细石油化工进展, 2003, 4(10): 1-2.
- [2] 韩东. 表面活性剂驱油原理及应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 194-199.
- [3] 李雅华, 李明远, 林梅钦, 等. 交联聚合物微球分散体系的流变性[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(3): 93-95.
- [4] 王代流, 肖建洪. 交联聚合物微球深部调驱技术及其应用[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 86-88.
- [5] Smith, J.E. (1986) Quantitive Evaluation of Polyacrylamide Crosslinked Gels for Use in Enhanced Oil Recovery. *Anaheim: The International ACS Symposium*, 9-12.
- [6] 张增丽, 雷光伦, 刘兆年, 等. 聚合物微球调驱研究[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(6): 749-751.
- [7] 王涛, 肖建洪, 孙焕泉, 等. 聚合物微球的粒径影响因素及封堵特性[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(4): 80-82.
- [8] 雷光伦, 李文忠, 贾晓飞, 等. 孔吼尺度弹性微球调驱影响因素[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(2): 41-43.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2161-8844，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjcet@hanspub.org](mailto:hjcet@hanspub.org)