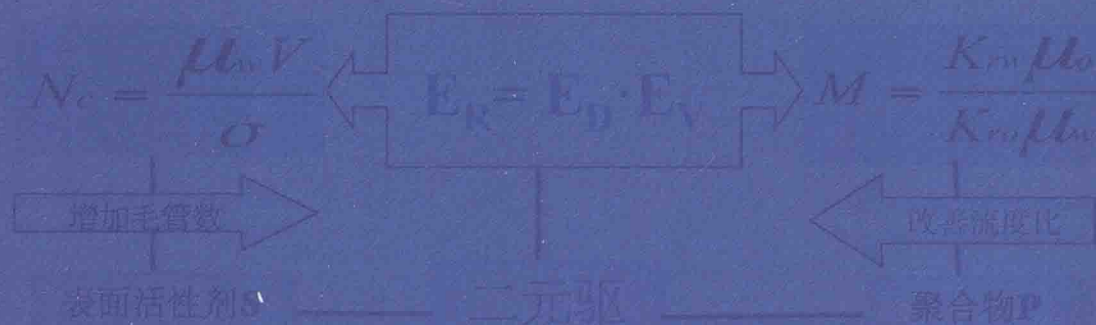


Proceedings of Polymer-Surfactant Binary Flooding Technology



聚合物—表面活性剂二元驱

技术文集 (上册)

中国石油勘探与生产分公司 编

石油工业出版社

聚合物—表面活性剂 二元驱技术文集

(上册)

中国石油勘探与生产分公司 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书内容包括聚合物—表面活性剂二元驱机理研究, 配方研究, 油藏工程研究, 工程技术及矿场试验等相关的论文 111 篇, 对提高石油采收率和老油田挖潜具有重要意义。

本书适合从事油气田开发及提高采收率研究的技术人员、研究人员和管理人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

聚合物—表面活性剂二元驱技术文集. 上、下册/中国石油勘探与生产分公司编. —北京: 石油工业出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-5183-0205-5

I. 聚…

II. 中…

III. 聚合物—表面活性剂—化学驱油—文集

IV. TE357.46-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 133078 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

编辑部: (010) 64523562 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 46.25

字数: 1174 千字

(上下册) 定价: 200.00 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

《聚合物—表面活性剂二元驱技术文集》

编 委 会

主 任：何江川 王元基

副主任：廖广志 胡海燕 刘先贵 王红庄

委 员：刘卫东 王连刚 王正茂 孙灵辉

赵玉集 朱友益 王正波 杨 烨

萧汉敏 丛苏男 罗莉涛 苟斐斐

许 可 郭 英 严文瀚

前 言

2008 年中国石油天然气股份有限公司（以下简称中国石油）开始聚合物—表面活性剂二元驱重大开发试验，近年来驱油用表面活性剂技术发展很快，原来必须加入碱界面张力才能达到低（超低）的三元复合驱体系在去掉碱后也能够达到低（超低）；随着三次采油驱油理论的发展，认为聚合物的黏弹性在提高采收率中占有重要的地位，驱油体系在高黏弹性条件下，适当提高油水界面张力也能达到较高的驱油效率，这使聚合物—表面活性剂二元驱提高采收率技术得到了较快应用。二元驱既具有聚合物驱提高波及体积的功能，又具有三元复合驱提高驱油效率的作用，预计提高采收率 15% 左右，介于聚合物驱和三元复合驱之间，是一种对油藏伤害小、投入产出前景好、具有发展潜力的三次采油方法。二元驱是目前三次采油技术的拓展，是聚合物驱和三元驱之外对三次采油技术的探索。据不完全统计，中国石油适合二元驱储量约 $20 \times 10^8 \text{t}$ ，该技术具有广阔的应用前景。

通过重大开发试验卓有成效的工作，中国石油二元驱技术取得重大进展，二元复合驱技术在配方研究、机理认识、采油工艺、地面工程、动态监测、矿场实施等方面取得了长足的进步，辽河油田中高渗透砂岩油藏、新疆油田砾岩油藏、吉林油田和长庆油田低渗透油藏、大港油田复杂断块油藏等 5 个二元驱区块先后投入矿场试验，已经初步见到了效果。辽河油田锦 16 块聚合物—表面活性剂二元驱重大开发试验取得重大进展，截至 2013 年底，试验区日产油量对比转驱前翻 5 倍，日产油量由 63t 上升到 344t，综合含水由 96.7% 下降到 83.6%，累计产油 $16.4 \times 10^4 \text{t}$ ，取得了明显效果。锦 16 块二元驱 $40 \times 10^4 \text{t}$ 工业化推广已经顺利展开。

在中国石油勘探与生产分公司组织下，中国石油举办了三次二元驱技术研讨会和两次二元驱工作会议，先后有 180 余篇论文和 5 个二元驱开发方案以及试验进展在会上进行交流。

本论文集筛选录用了二元驱技术研讨会论文 111 篇，涵盖二元驱机理研究、配方研究、油藏工程研究、工程技术及矿场试验，全面总结了中国石油二元驱技术的发展现状。目前二元驱技术的发展还处于起步阶段，希望本论文集的出版能够推动二元驱技术进步，我们也相信聚合物—表面活性剂二元驱技术将会成为注水开发油田特高含水期提高采收率的战略接替技术。

编 者

目 录

(上册)

一、聚合物—表面活性剂二元驱机理研究

聚合物—表面活性剂二元驱技术现状及前景	何江川 王元基 廖广志 等 (3)
聚合物—表面活性剂二元驱提高采收率关键技术研究	廖广志 王连刚 刘卫东 等 (10)
聚合物—表面活性剂二元驱过程中色谱分离现象研究	胡海燕 孙灵辉 崔景胜 等 (22)
无碱二元体系在长填砂管中沿程变化规律研究	赵劲毅 黄文庆 刘小波 等 (28)
弱碱—无碱复合驱体系驱油机理	袁 红 翁 蕊 朱友益 等 (34)
红岗油田二元驱表面活性剂超低界面张力形成机理研究	杨玉梅 陈晓英 吕振山 等 (44)
碱在化学驱提高采收率中的应用及作用机理	李 洋 刘存辉 刘卫东 等 (49)
二元复合体系性能在运移过程中的动态变化规律研究	侯吉瑞 赵凤兰 (59)
聚合物—表面活性剂二元驱微观驱油机理研究	顾鸿君 刘卫东 聂振荣 等 (75)
复合表面活性剂驱油体系对不同井原油的适应性探索研究	王 雨 吴运强 任敏红 等 (81)
七中区二元驱系乳化研究及影响因素分析	侯军伟 李织宏 阙庭丽 等 (86)
锦 16 块二元驱原油组分对表面活性剂界面性质影响研究	肖传敏 武 毅 郭丽娜 等 (90)
无碱二元配方体系评价与检测方法研究	张向宇 于 涛 赵庆辉 等 (98)
聚合物—表面活性剂二元驱用污水水质指标体系研究	王 伟 闫云贵 崔丹丹 等 (103)
超低界面张力强乳化复合型表面活性剂研究	崔丹丹 汪娟娟 李 辉 等 (110)
聚—表二元体系乳状液水动力学特征尺寸研究	汪娟娟 崔丹丹 程丽晶 等 (115)
泡沫驱油技术研究进展	胡小冬 郭巧珍 陈丽华 等 (119)
红岗二元驱水动力学半径与孔喉配伍关系研究	齐艳丽 张成明 董海军 等 (124)
液相色谱法在吉林二元驱中的应用	董海军 齐艳丽 祝丽丽 等 (130)
长庆特低渗透油藏表面活性剂驱主控因素研究	谭俊领 刘笑春 郑力军 等 (135)
聚—表剂 O/W、W/O 型乳液研究	宿廉洁 (143)
聚—表二元体系水动力学半径与地层孔喉匹配关系研究	程丽晶 于 娣 徐伟生 等 (149)

二、聚合物—表面活性剂二元驱配方研究

二元复合驱甜菜碱型表面活性剂研究进展·····	刘春德	周朝辉	马德胜等	(155)
配液水的组成对聚合物—表面活性剂二元体系性能的影响 ·····	高春宁	刘 蕾	王丽莉等	(161)
烷基胺类单一表面活性剂驱油剂的界面张力研究·····	高春宁	武平仓	刘 蕾等	(167)
锦 16 块二元驱用表面活性剂筛选与评价 ·····	于 涛	张艳娟	郝艳秋等	(171)
七中区克下组复合驱用聚合物的选择·····	张群志	董 玲	李织宏等	(181)
油相组成对二元驱油体系界面性质的影响·····	王 雨	李织宏	陈权生等	(187)
克拉玛依油田石油磺酸盐的优化与性能评价·····	方新湘	陈永立	牛春革等	(193)
长庆低渗透油藏二元驱技术研究进展·····	高春宁	武平仓	熊维亮等	(203)
二元驱表面活性剂的研究与应用进展 ·····			郭东红	(208)
无碱表面活性剂分子设计与合成 ·····	朱友益	王 哲	张 群	(217)
二元复合驱用表面活性剂评价指标的探讨·····	董 玲	张群志	李织宏等	(226)
无碱活性剂研制及筛选·····	伍晓林	王海峰	杨 勇等	(232)
无碱二元复合体系不同油层驱油效果研究·····	纪海龙	李佰广	刘 杰等	(237)
复合驱配方的乳化性能研究·····	王 雨	陈权生	吴运强等	(241)
无碱二元体系驱油段塞优化研究 ·····			李国桥	(248)
红岗油田 113 区块二元驱配方体系优化研究·····	张 辉	董宪红	陈晓英等	(253)
锦 16 块无碱二元驱油体系优化与现场监测配套技术研究 ·····	于 涛	肖传敏	刘家林等	(262)
聚合物指纹识别技术及浓度检测方法研究·····	郝艳秋	于 涛	刘家林等	(270)
多层非均质油藏聚—表二元驱配方优化设计方法·····	李宜强	刘少鹏	张 程等	(276)
二元驱体系黏度和界面张力对采收率影响实验研究 ·····	周惠泽	王延杰	刘卫东等	(286)
污水用于二元驱配聚黏损水质因素分析及控制方法研究 ·····	严 忠	黄连华	曹雪梅等	(291)
具有典型特征二元驱体系的乳化能力及驱油效果研究 ·····	王 雨	陈权生	程志强等	(302)
助表面活性剂对七中区二元体系界面张力的影响研究·····	李织宏	陈权生	董 玲等	(309)
克拉玛依不同原料磺酸盐性能对比·····	方新湘	陈永立	牛春革等	(315)
可动凝胶—表面活性剂复合调驱技术研究及应用·····	任红梅	曾庆桥	刘 媛等	(322)
微生物凝胶复合驱在华北油田巴 51 断块的研究及应用 ·····	游 靖	吴 刚	朱立国等	(330)
石油磺酸盐二元复合驱复配性能初探·····	牛春革	李 英	方新湘等	(340)
大庆油田一类油层聚合物驱后聚—表剂驱油效果研究 ·····	王洪卫	陈 弘	隋彦芬等	(346)
新型甜菜碱活性剂及其二元体系性能评价·····	刘春德	周朝辉	张 群等	(355)
港西三区聚合物—表面活性剂二元体系稳定性实验研究 ·····	王 伟	潘 红	崔丹丹等	(361)

KPS 石油磺酸盐的质量监控技术研究·····	陈叔生	王 雨	陈素萍 等	(366)
二元复合驱注采化学剂检测方法的建立·····	李织宏	陈素萍	侯军伟 等	(372)
超支化缔合聚合物的制备及聚一表二元驱油性能研究 ·····	刘 锐	蒲万芬	田园媛 等	(377)
辽河油田锦 16 块二元驱用表面活性剂研制与评价 ·····	于 涛	肖传敏	张艳娟 等	(382)
大港油田聚一表二元驱稳定剂的研制及性能评价·····	严 曦	汪娟娟	李 辉 等	(391)
长庆自主石油磺酸盐表面活性剂研发·····	李文宏	范 伟	张永强 等	(397)
马岭北三区聚一表二元体系协同性实验研究·····	王丽莉	李文宏	张永强 等	(403)
二元驱乳化机理及传输规律研究进展·····	孙灵辉	刘卫东	萧汉敏 等	(408)
聚合物驱后油藏聚一表剂驱提高采收率研究·····	康少冬	王洪卫	李丽娟 等	(413)

(下 册)

三、聚合物—表面活性剂二元驱油藏工程研究

小五点井网及细分层段对红岗油田二元驱适应性初步分析

·····	于孝玉	杨玉梅	刘 斌 等	(421)
红岗油田二元驱单层封窜技术研究 ·····	张应安	于兴龙	李晓辉	(428)
锦 16 块二元驱工业化试验油藏工程设计研究 ·····	王奎斌	李 蔓	温 静 等	(441)
七中区克下组砾岩油藏二元驱井网适应性评价 ·····	刘 刚	周惠泽	聂振荣 等	(445)
七中区砾岩油藏复合驱控制程度研究·····	聂振荣	周惠泽	汪良毅 等	(450)
扩大二元驱波及效率提高采收率的技术对策·····	王洪关	张 松	卢祥国 等	(455)
复合驱前深部调驱技术改善砾岩油藏非均质性的认识与技术对策 ·····	才 程	张 松	王洪关	(461)
七中区二元驱试验区水流优势通道描述研究·····	程宏杰	朱桂芳	胡小冬 等	(467)
J16 块多期储层砂体精细刻画研究 ·····	李 蔓	张丽娜	王 琳 等	(475)
聚一表二元驱体系与油藏匹配性研究·····	张 杰	程立晶	丁亚军 等	(480)
聚一表二元驱注入过程中储层参数变化规律研究·····	郭志强	潘 红	陈瑜芳 等	(485)
马岭油田聚一表二元试验区地质再认识·····	上官阳南	张永强	熊维亮 等	(490)

四、聚合物—表面活性剂二元驱工程技术及矿场试验

七中区二元驱地面注入系统黏损因素分析 ·····	张群志	董 玲		(499)
克拉玛依油田化学驱配液用水选择及预处理·····	董 玲	张群志	李织宏 等	(505)
港西三区二元驱地面工艺配套研究·····	王强	胡 静	黄 津 等	(516)
聚合物—表面活性剂二元复合驱地面配注工艺优化研究 ·····	闫云贵	徐伟生	邢立国 等	(521)
红岗油田二元驱注入工艺技术研究·····	牛世忠	夏新忠	徐国徽 等	(527)
低剪切率静态混合器的研制 ·····			郑晓松	(536)
二元驱开采工艺技术研究 ·····			王 浩	(544)

红岗二元驱试验实施效果评价·····	马银龙	牛世忠	孙恒等	(549)
大港羊三木油田新型二元复合驱体系现场试验研究·····	杨德华	闫云贵	杨怀军等	(557)
聚—表二元复合驱在聚合物驱后断块中的应用·····	许向峰	刘颖	黄津等	(564)
配聚污水深度处理技术实验研究及现场应用·····	闫云贵	徐伟生	陈松华等	(569)
熟化过程中影响聚合物溶液黏度的因素分析·····	韩松	胡静	陈洁琼	(574)
新疆油田克拉玛依砾岩油藏二元驱技术难点及对策研究 ·····	刘顺生	王延杰	顾鸿君等	(580)
七中区二元复合驱试验地面系统现场管理与革新·····	赵美刚	丁明华	吴永锋等	(587)
七中区克下组砾岩油藏二元驱初期开发特征研究·····	聂振荣	刘宝珍	朱桂芳等	(592)
石油磺酸盐 KPS 的清洁化生产工艺及应用·····			刘斌	(597)
新疆油田二元驱采出水处理室内试验研究·····	贺亮	黄强	王爱军等	(603)
配聚浓度误差控制工艺技术研究与应用·····			孙绪昌	(608)
锦 16 块区块整体调驱技术的矿场应用·····			刘建山 柳荣伟	(611)
锦 16 块二元驱动态调控技术研究与应用·····			周培杰 李宝莹	(617)
化学驱项目全生命周期经济评价方法研究·····			刘斌 许艳	(620)
红岗油田二元驱试验精细注采调控技术研究·····	蔡金容	马立文	杨玉梅等	(624)
吉林油田中低渗透油藏二元驱试验技术对策研究·····	马银龙	孙恒	牛世忠等	(631)
大庆油田三元复合驱地面工艺技术·····	李学军	赵忠山	赵秋实等	(637)
北一区断东强碱三元复合驱单井组开发调整技术研究 ·····	吴凤琴	任秀山	杜丽波等	(643)
利用试井技术研究三元复合驱注采能力变化影响因素 ·····	王丽丹	李佰广	樊宇等	(648)
强碱三元体系在油层中的运移特点及分布规律·····	苏延昌	王磊	段成志	(654)
弱碱三元复合驱开采特点及影响因素研究·····	张辉	段雅杰	刘超等	(659)
三元复合驱动态开采规律分析·····	王雷	曲德彬	岳青等	(665)
杏六区强碱三元复合驱影响开发效果地质因素及调整对策 ·····	叶鹏	付斌	刘艳平等	(670)
大庆油田二三类油层三元复合驱分质分压注入技术研究 ·····	徐德奎	蔡萌	姜士彪等	(675)
强碱三元复合驱螺杆泵转子结垢原因分析及对策·····	赵云龙	江威	侯宇等	(680)
三元复合驱硅垢防垢剂研究及应用·····	张晓时	韩露	陈晶莹等	(686)
三元复合驱注入井堵塞物成分及成因分析·····	管公帅	胡俊卿	傅海荣等	(691)
提捞抽油机用抽子胶筒工作特性试验研究·····	陈明战	李强	张颖等	(696)
单井效益评价在二元驱生产经营中的应用研究·····	刘斌	郭福军	谢艳艳等	(701)
二元驱项目全生命周期效益评价方法研究·····	刘斌	许艳	杜海薇	(706)
锦 16 块二元驱与水驱效益差异性研究·····			魏秀艳	(712)

一、聚合物—表面活性剂 二元驱机理研究

聚合物—表面活性剂二元驱 技术现状及前景

何江川¹ 王元基¹ 廖广志¹ 刘卫东²

(1. 中国石油勘探与生产分公司; 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院)

摘 要:随着中国石油天然气股份有限公司(以下简称股份公司)聚合物—表面活性剂二元驱重大开发试验的开展,二元驱技术在股份公司内部越来越受到重视,本文从发展二元驱技术的必要性、二元驱的技术特点、二元驱机理以及二元驱国内外发展现状等方面对其进行总结,为二元驱技术的发展提供技术及理论支持。

关键词:聚合物—表面活性剂二元驱;机理;现状;化学驱

提高采收率技术在世界各国具有广泛的应用,目前主要采用的提高采收率方法有热采(包括蒸汽驱、蒸汽吞吐、热水驱、火烧油层,蒸汽辅助重力泄油(SAGD))、化学驱(包括胶束—聚合物驱、聚合物驱、碱驱、表面活性剂驱、三元复合驱、二元复合驱)、气驱(包括烃混相/非混相驱、二氧化碳混相/非混相驱、氮气驱、烟道气驱、酸气驱),其他还有微生物驱、碳酸水驱等。中国作为提高采收率技术应用的大国,虽然开展该技术的研究和应用的时间较晚,但是近年来的发展很快。中国的大部分油田都是陆相沉积,非均质性较强,水驱采出程度低,因此需要改善油水的流度比。针对这种油藏条件,中国发展较快的是以改善油水流度比和提高波及体积为主的化学驱项目,尤其是聚合物驱和碱—表面活性剂—聚合物三元复合驱。随着三次采油驱油理论的发展,聚合物的黏弹性在提高采收率中的重要作用得到普遍认可,驱油体系在高黏弹性条件下,适当提高油水界面张力也能达到较高的驱油效率,同时随着表面活性剂合成技术的发展,使得必须加入碱才能达到低(超低)界面张力的三元复合驱体系在去掉碱后也能够达到低(超低)界面张力,这使聚合物—表面活性剂二元驱提高采收率技术得到了较快应用。二元驱作为最具发展潜力的三次采油方法之一,是聚合物驱和三元驱技术的拓展,它既具有聚合物驱提高波及体积的作用,又具有三元驱提高驱油效率的作用。从提高采收率幅度来说,二元驱介于聚合物驱和三元驱之间,提高采收率在15%左右,是一种对油藏伤害小,采收率高的具有良好应用前景的技术。

1 发展聚合物—表面活性剂二元驱的必要性

1.1 我国油田总体进入“双高”阶段

我国油田开发经过了4个发展阶段,第一阶段在20世纪70年代,通过大庆、胜利、华北等一大批新油田开发,原油产量达到 1×10^8 t以上;第二阶段在80年代,通过老油田加密挖潜和新油田开发,原油产量达到 1.4×10^8 t;第三阶段90年代以来,西部和海洋加快发展,

原油产量上升到 $1.84 \times 10^8 \text{t}$ 。目前我国油田已经进入高采出程度、高含水的“双高”发展阶段，未来要保持国内原油产量的稳定，化学驱（聚合物驱、二元驱）是原油稳产和上产重要的保障之一。2006 年底国内原油开发现状见表 1。

表 1 2006 年底国内原油开发现状

公司	累计动用储量			年产量 (10^4t)	累计产量 (10^4t)	可采储量采出 程度 (%)	综合含水 (%)
	地质储量 (10^4t)	可采储量 (10^4t)	采收率 (%)				
中国石油	1280467.35	431903.45	33.70	10663.54	323912.83	75.00	84.90
中国石化	533515.93	149074.51	27.90	4010.58	115030.97	77.20	88.20
中国海油	110663.41	33033.79	29.90	2750.26	25260.84	76.50	80.30
地方	33307.78	4021.75	12.10	951.25	5520.10	—	—
全国	1956463.47	617794.87	31.60	18375.63	466417.17	75.50	84.10

1.2 新增可采储量逐年减少，储采失衡日趋严重

自“七五”以来，国内主要油田的新增可采储量下降明显，如大庆油田“七五”期间新增可采储量为 $28208 \times 10^4 \text{t}$ ，到“十一五”期间仅有 $3942 \times 10^4 \text{t}$ ，下降了 86%，同期储采平衡系数从 1.02 降低到 0.23，降低了 77% 以上。新增可采储量和储采比的降低，就要求我们进一步提高老油田的采收率，就目前来看，化学驱是老油田进一步提高采收率的有效方法。

如图 1 所示为大庆油田各时期新增可采储量和储采平衡系数的变化情况。

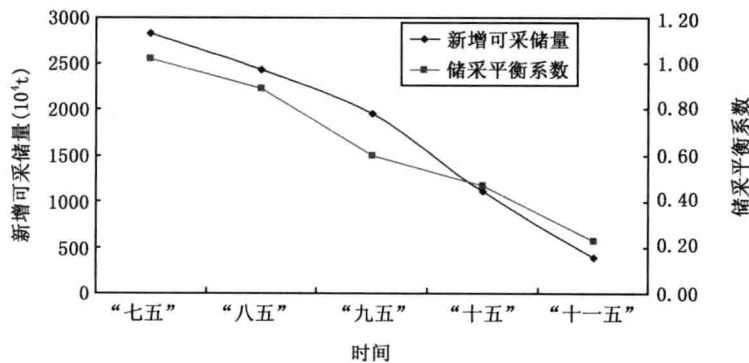


图 1 大庆油田新增可采储量和储采平衡系数变化

1.3 股份公司油田开发面临严峻形势

目前股份公司油田开发的重点是高含水油田、低渗透油田和稠油油田，但是目前都存在比较严重的问题。

含水率超过 85% 的老油田提高采收率难度大，老油田已进入“高含水”阶段，水驱采收率平均 34%，剩余油高度分散，注入水无效循环严重。

大量低渗、特低渗储量难以经济有效动用，新发现储量品位变差，低渗透储量占当年新增储量的 80%，有效动用难度大。

中深层稠油经济开采难度大，埋藏超过 800m 的中深层稠油面临由吞吐向蒸汽驱开采方式转换的难题。

作为油田开发重点的高含水油田所采取的提高采收率方法是化学驱，主要包括聚合物驱、三元驱、二元驱等。

1.4 聚合物—表面活性剂二元驱在化学驱中的作用

聚合物—表面活性剂二元驱与聚合物驱相比，除同样增加波及系数外，由于加入了表面活性剂，降低了油水界面张力，增加了体系的驱油效率，提高了采收率；聚合物—表面活性剂二元驱与三元驱相比，除保持低界面张力、高驱油效率外，由于去掉了碱，发挥了聚合物提高波及系数的优势，消除了碱溶蚀、结垢对油藏的伤害，提高了举升效率，减轻了地面采出液处理的难度，系统效率大大提高。经济效益大幅度提高，技术指标和经济指标得到有效平衡。随着辽河油田锦16块、新疆油田七中区、吉林油田113区块聚合物—表面活性剂二元驱重大开发试验的开展，以及相关技术研究的进行，二元驱在配方、机理研究、方案设计、油藏工程、采油工程、地面工程等方面将逐步完善，形成具有中石油特色的二元驱提高采收率技术系列。为股份公司中高渗砂岩、砾岩和低渗透油藏提高采收率提供重要技术保障。

2 聚合物—表面活性剂二元驱的主要技术特点

聚合物驱主要利用聚合物的黏弹性，通过提高驱油效率和波及体积达到提高采收率的目的，提高采收率10%左右，幅度较小；三元驱主要利用聚合物的黏弹性以及表面活性剂和碱协同降低界面张力的特性，达到提高采收率的目的，是目前提高采收率幅度最大的三次采油技术，强碱体系可提高采收率20%，弱碱体系可提高采收率18%，但是由于碱的存在使其应用受到一定的限制；近年来表面活性剂技术发展很快，原来必须加入碱界面张力才能达到低（超低）的三元复合驱体系在去掉碱后也能够达到低（超低）；随着三次采油驱油理论的发展，认为聚合物的黏弹性在提高采收率中占有重要的地位，使驱油体系在高黏弹性条件下，适当提高油水界面张力也能达到较高的驱油效率。两者相结合使二元驱提高采收率技术得到了较快发展；聚合物—表面活性剂二元复合驱提高采收率介于聚合物驱和三元驱之间，可提高采收率15%。二元驱是目前三次采油技术的拓展，是聚合物驱和三元驱之外对三次采油技术的探索。

2.1 提高采收率幅度大，二元驱适用油藏条件范围宽

聚合物—表面活性剂二元驱是在聚合物驱中加入表面活性剂，既提高波及系数又提高驱油效率，提高采收率能力大于聚合物驱。图2所示为人造一维均质岩心驱油实验结果。

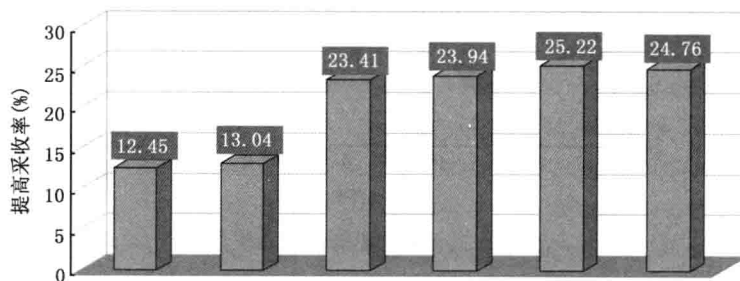


图2 人造一维均质岩心驱油实验结果

聚合物—表面活性剂二元驱介于聚合物驱和三元复合驱之间，适合聚合物驱和三元复合驱的油藏都适合进行二元驱。

2.2 与三元复合驱相比，避免由于碱存在带来的问题

三元复合驱过程中，由于碱的存在造成的油管及地面管线结垢引起的频繁作业。三元复合驱中由于碱的存在，地层岩石矿物的溶蚀比较严重，造成油藏和地面管线结垢严重，影响了油田的正常生产（图3）。三元驱由于聚合物的增黏作用和碱的存在产生的乳化、结垢等的影响，注入压力上升明显，对油井的产液量影响较大；二元驱中无碱，降低了乳化、结垢对注入压力和油井产液的影响，聚合物中加入表面活性剂后，能够降低聚合物驱注入压力（图4），因此二元驱的注入压力要比聚合物驱和三元驱压力小，油井产液量下降的幅度也小。

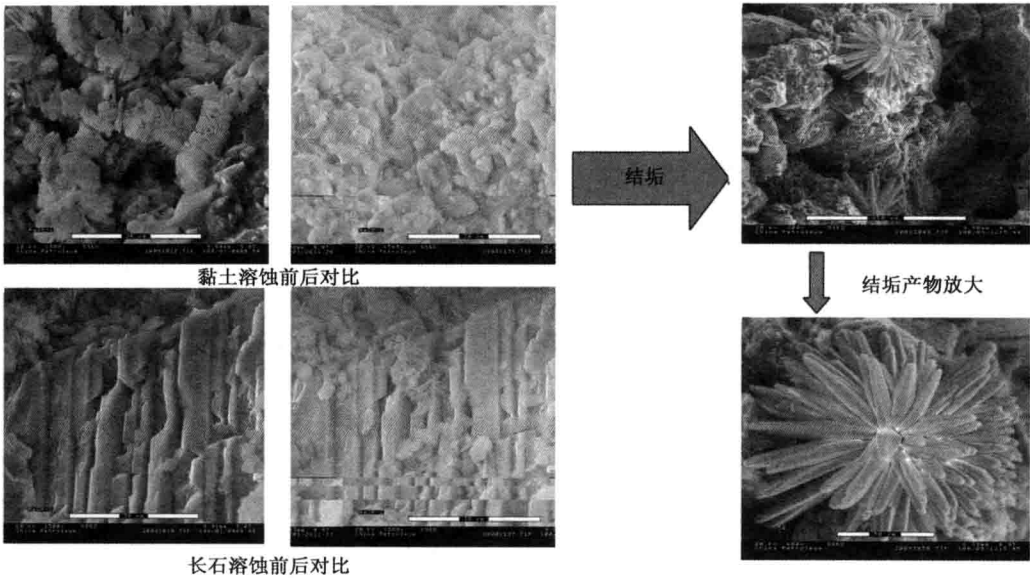


图3 三元复合驱中碱对岩石矿物的溶蚀及结垢

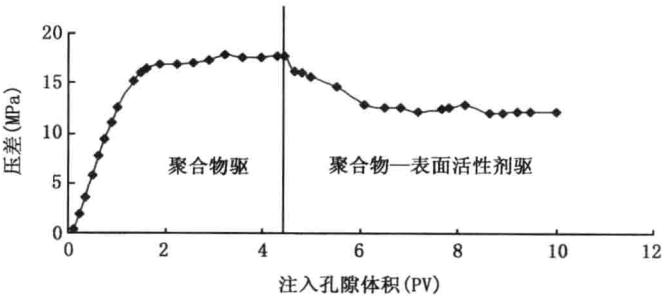


图4 二元复合驱降低注入压力

碱的存在造成驱油体系黏度大幅度下降，要达到方案要求的黏度，必须增加聚合物的浓度，造成化学剂成本上升（表2）。

表 2 碱对化学驱油体系黏度的影响

驱油方式	聚合物浓度 (mg/L)	表面活性剂含量 (%)	碱含量 (%)	黏度 (mPa · s)
聚合物	1200	0	0	77.0
二元复合驱	1200	0.2	0	77.9
弱碱三元复合驱	1200	0.2	0.4	41.3
弱碱三元复合驱	2000	0.2	0.4	68.2

2.3 地面注入工艺简单，简化了注入流程和防腐处理

聚合物—表面活性剂二元体系中无碱，降低了设备的数量，同时能够降低对设备的防腐、防垢的处理，简化了注入工艺和流程，降低了设备表面的处理难度

2.4 二元驱经济性较好，降低化学剂设备和作业成本

聚合物—表面活性剂二元驱中无碱，可以在保持体系黏度的条件下降低聚合物用量，从而降低化学剂成本；减少由于碱存在造成的频繁作业，就降低作业成本；注入设备、管线简单，不需要防腐，降低设备投资；采出液破乳容易，降低了破乳剂的使用量，降低破乳成本。

2.5 对表面活性剂要求更高，无碱条件界面张力超低更难

与三元复合驱相比，聚合物—表面活性剂二元复合驱达到超低界面张力的难度更大，对表面活性剂的要求也更高；二元复合驱不能完全采用三元复合驱用表面活性剂。三元驱用表面活性剂在二元驱中不一定能达到超低界面张力，需要进一步进行复配研究，增加了科研难度。

3 聚合物—表面活性剂二元驱机理

聚合物—表面活性剂二元驱是指在水中加入聚合物和表面活性剂，利用聚合物的流度控制能力和黏弹性作用以及表面活性剂大幅度降低油水界面张力的特性，既提高波及系数又提高驱油效率，进而提高采收率的一种三次采油技术。由于二元体系中含有聚合物和表面活性剂两种化学剂，经过室内研究认为二元驱的机理主要包括提高驱油效率和扩大波及体积。

3.1 聚合物—表面活性剂二元驱扩大波及体积

聚合物—表面活性剂二元驱中的聚合物具有调整油水流度比、扩大二元体系和后续水驱波及体积的作用。在非均质模型中，注入水主要沿高渗透层运移，低渗透层波及很少。注入二元体系后，体系主要进入高渗透层，随着体系的注入，高渗透层的注入压力逐渐升高，部分体系进入低渗透层，因此二元体系注入提高了二元驱的波及体积。二元驱提高波及体积机理可以解释为：聚合物通过增加水的黏度和吸附或滞留在油层孔隙中降低了水相渗透率，结果水油流度比降低。聚合物不溶于油，对油黏度几乎没有影响。油滴在聚合物前缘聚集，油相渗透率增加，油流度加大，提高了平面波及效率，克服了注水指进，又提高了垂向波及效率，增加了吸水厚度（图 5）。

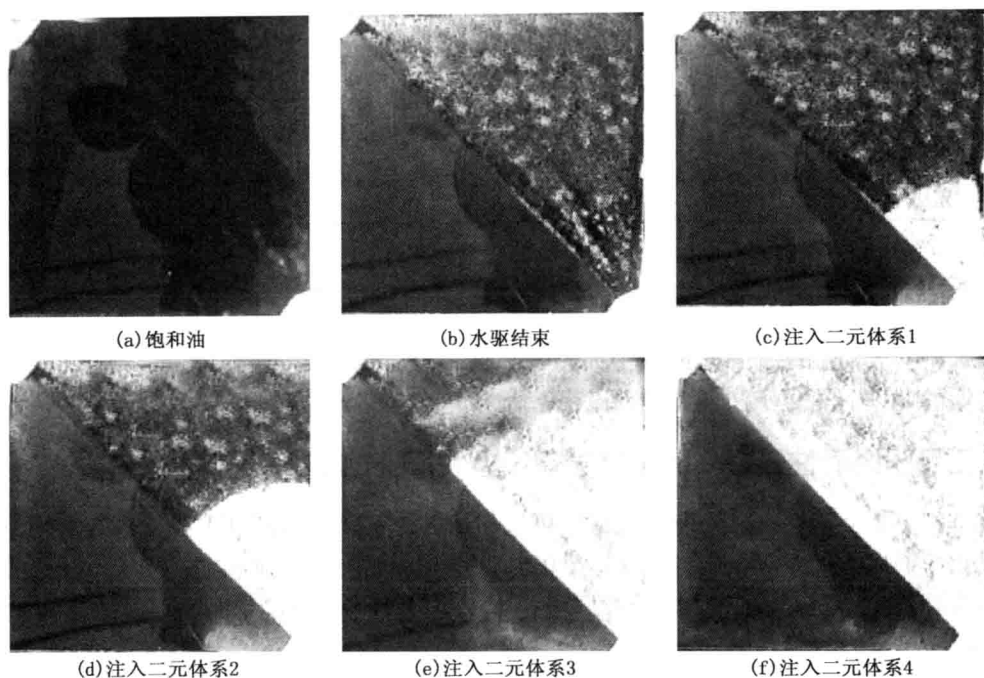


图5 二元复合驱提高波及体积机理

3.2 聚合物—表面活性剂二元驱增加毛细管数，提高洗油效率

二元体系中的表面活性剂具有降低界面张力的作用，前期研究结果表明，二元体系与原油之间界面张力可以达到 10^{-2} mN/m 以下，降低界面张力，提高了毛细管数，是提高采收率最有效最可行的方法（图6）。

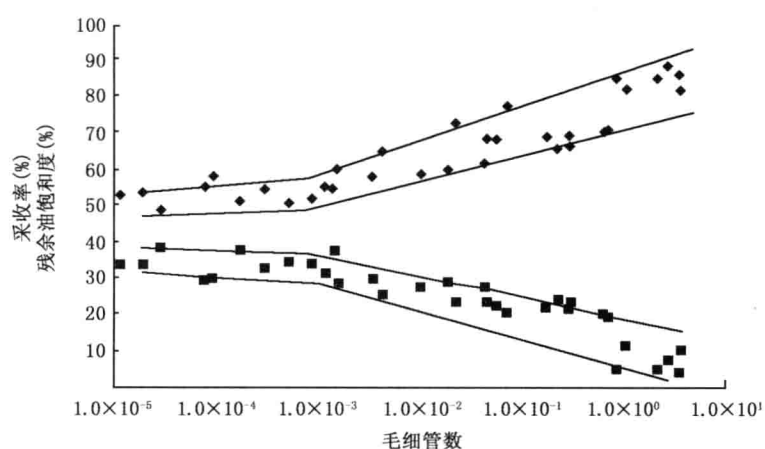


图6 二元复合驱提高驱油效率机理