

文章编号:1000-4092(2019)04-693-07

## 在线调驱复合体系评价及其长距离运移特征\*

李妍<sup>1,2,3</sup>, 侯吉瑞<sup>1,2,3</sup>, 王香增<sup>4</sup>, 赵凤兰<sup>1,2,3</sup>, 王志兴<sup>1,2,3</sup>, 易文君<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国石油大学(北京)提高采收率研究院,北京 102249;2. 中国石油三次采油重点实验室低渗油田提高采收率应用基础理论研究室,北京 102249;3. 北京市温室气体封存与石油开采利用重点实验室,北京 102249;4. 陕西省二氧化碳封存与提高采收率重点实验室(筹),陕西 西安 710075)

**摘要:**受海上平台空间小、淡水资源短缺的限制,传统干粉型聚合物及其配注工艺很难在海上油田广泛应用。乳液聚合物凝胶、聚合物微球体系具备调驱和驱油的双重作用,在部分海上油田平台已有成功应用。为了进一步明确乳液聚合物凝胶+核壳球复合体系深部运移调驱规律,采用微观结构观察和静态评价方法,分析乳液聚合物凝胶、核壳球体系及两者复合体系的结构特征和黏度变化规律,并在此基础上进行1 m、10 m砂管动态封堵性实验,评价不同调驱体系的调驱效果。研究表明,乳液聚合物凝胶+微球复合体系的结构网格更粗,核壳球嵌入到凝胶网格中,使单层的网络交织结构变厚,增加了体系的强度。同时,复合体系在长距离的运移过程中,后续水驱突破压力最高,在模型2.975 m处的突破压力达8.01 MPa,且沿程大部分测压点的封堵率均超过90%,复合体系的封堵性能较两者单独使用时的效果有很大提升。在线调驱复合体系长距离运移特征研究可为海上油田评价深部调驱剂效果提供技术思路和理论指导。图12表3参13

**关键词:**海上油田;在线深部调驱;复合体系;封堵性能;运移特征

**中图分类号:**TE357.46 **文献标识码:**A **DOI:**10.19346/j.cnki.1000-4092.2019.04.024

### 0 前言

由于海上油田具有储层厚度薄、横向变化快等特点,储层非均质性严重,注水开发过程中易沿高渗条带和大孔道流动形成高渗透通道,注入水不均匀推进会造油井见水早、含水率上升快等问题,导致油井产油量降低。实施深部调驱,封堵高渗透层的水流通道,抑制注入水发生水窜,迫使液流转向,可提高低渗透层的动用程度,增大注入水的波及体积,从而达到稳油控水的目的,改善注水开发效果<sup>[1-3]</sup>。

深部调驱技术是一种高效调整层内、层间矛盾和改善油田注水开发效果的工艺技术,已在陆上油田广泛应用。其中,聚合物凝胶调驱技术对海上油田注水开发具有很强的适应性,其聚合物使用浓度

比聚合物驱的低,但同时还具有聚合物驱的驱油效果。该技术较大程度地改善了油藏的非均质状况、扩大了波及体积,从而达到提高采收率的目的<sup>[4-7]</sup>。目前,已有许多学者对聚合物调驱体系性能及其适应性进行了实验研究。吕鹏等<sup>[8]</sup>利用均质岩心物理模型评价了乳液聚合物与不同浓度交联剂形成的交联体系的调剖能力,并与单独使用乳液聚合物的调剖效果进行对比,得出采收率提高幅度在一定范围内随着预交联颗粒在体系中所占浓度的提高而增大的结论;徐鹏等<sup>[9]</sup>针对复杂断块油藏特点开展了聚合物乳液在线调驱技术实验研究,证明在线注入装置能够实现聚合物乳液的在线溶解;王崇阳等<sup>[10]</sup>通过模拟高温高盐的油藏条件,研究了新型表面活性剂/聚合物微球复配体系调驱的压力和阻力

\* 收稿日期:2019-03-22;修回日期:2019-09-25。

**基金项目:**国家重大专项“低渗-致密油藏高效提高采收率技术”(项目编号 2017ZX05009),国家重大专项“缝洞型碳酸盐油藏提高采收率关键技术”(项目编号 2016ZX05014)。

**作者简介:**李妍(1994-),女,中国石油大学(北京)石油与天然气工程在读硕士研究生(2017-),研究方向为提高采收率与采油化学,E-mail:liyan940413@163.com。侯吉瑞(1965-),男,教授,本文通讯联系人,研究方向为提高采收率与采油化学,通讯地址:北京市昌平区府学路18号中国石油大学(北京),E-mail:houlirui@126.com。

变化特征,结果表明该复配体系的增油降水效果明显,采收率大幅提高,很好地发挥了聚合物微粒“调”与表面活性剂“洗”的双重作用。然而,对于乳液聚合物凝胶和核壳球复合体系的在线调驱效果研究较少。因此,为了进一步完善在线调驱复合体系,本文采用室内实验方法,评价乳液聚合物与核壳球体系的调驱性能,并将乳液聚合物交联体系与核壳球体系复合,对比分析复合体系在油藏深部动态复合作用规律。

## 1 实验部分

### 1.1 材料与仪器

ZX-20型乳液聚合物,聚合物的相对分子质量1500万,有效物含量28%,水解度20%,取自垦利油田现场;交联剂A(苯酚)、交联剂B(乌洛托品),北京庆凯华丰科技开发有限公司;稳定剂硫酸铵,上海麦克林生化科技有限公司;核壳球,一种聚合物微粒,有效含量25%,中海油田服务股份有限公司;正己烷,分析纯,市售。实验用水为模拟地层水,矿化度4400 mg/L,含4000 mg/L  $\text{CaCl}_2$ 、400 mg/L  $\text{NaCl}$ 。

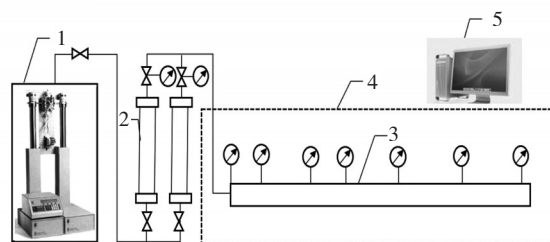
Quanta 200F型场发射环境扫描电镜,美国FEI公司;FD-1A-50型冷冻干燥机,上海聚莱实验仪器有限公司;MCR301型Aton Paar界面流变仪(转子型号19636),奥地利Aton Paar有限公司;驱替实验装置包括HXH-100B型高压恒速恒压泵(0~30 MPa),KDHW-II型恒温箱(0~150℃)、活塞式液体中间容器(500 mL,0~35 MPa)、六通阀、不同长度耐腐蚀钢制管线若干、手动计量泵、恒温箱、压力传感器及MCGS6.2通用版数据采集系统等。实验模型为人工填制的多测压点填砂模型,由恒温系统、驱替系统和数据采集系统组成。模型长度分别为1 m和10 m,详细的模型特征如下:

#### (1) 1 m填砂模型

1 m长多测压点填砂模型工作压力0~15 MPa,直径2.5 cm,长100 cm。乳液聚合物凝胶与核壳球体系的填砂模型渗透率分别为: $4980 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $4795 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。砂管主体上设计了7个测压点,分别距离注入口5、10、25、35、50、65和80 cm处,可实时监测注入乳液聚合物凝胶与核壳球体系的压力变化。

#### (2) 10 m填砂模型封堵性能评价实验设备

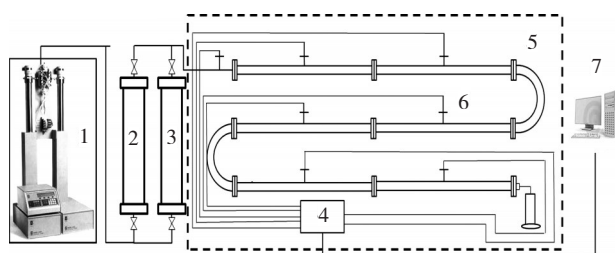
10 m长多测压点填砂模型工作压力0~15



1—恒压恒速泵;2—活塞中间容器;3—多测压点填砂模型;  
4—恒温箱;5—压力采集与处理系统

图1 1m长多测压点填砂模型实验流程图

MPa,直径2.5 cm,长1020 cm。乳液聚合物凝胶+核壳球复合体系的填砂模型渗透率为 $5412 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。为了测试不同位置、不同时间乳液聚合物凝胶+核壳球复合体系的压力变化,每间隔一段距离设计采样点,采样点处接有三通阀,既能取样,又能实时测定压力。



1—恒压恒速泵;2—地层水中间容器;3—凝胶体系中间容器;4—压力采集系统;5—多测压点填砂模型;6—恒温箱;7—数据处理系统;

图2 10m长多测压点填砂模型实验流程图

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 微观结构扫描分析

##### (1) 乳液聚合物凝胶微观结构扫描

①将一定量的乳液聚合物样品缓慢滴入模拟地层水中配制成聚合物有效含量为2000 mg/L的溶液,开启电磁搅拌器,在转速400 r/min下持续搅拌30 min后老化24 h;②取100 mL上述溶液放入锥形瓶中,分别加入0.06%的交联剂A、0.09%的交联剂B和0.01%的稳定剂,开启电磁搅拌器,在转速600 r/min下持续搅拌2 h以上;③将配制好的乳液型深部调驱溶液放入65℃恒温箱中静态成胶;④体系成胶后,将待测液置于液氮冷冻干燥机上干燥8 h,将制作好的调驱体系凝胶干燥样本进行表面处理,放入扫描电镜观察。

##### (2) 核壳球体系微观结构扫描

①将一定量的核壳球样品缓慢滴入模拟地层

水中,开启电磁搅拌器,在转速400 r/min下持续搅拌30 min配制成有效含量为2000 mg/L的核壳球分散液;②取300 mL的上述的核壳球分散液放入锥形瓶中,加入600 mL的正己烷后密闭,开启电磁搅拌器,在转速600 r/min下持续搅拌2 h以上;③将配制好的核壳球分散液移入分液漏斗中静置;待混合溶液出现上下两层时,收集下层核壳球分散水溶液;重复上述步骤2次;④将除油处理后的核壳球分散液置于65℃的恒温箱中,烘烤水化一定的时间(3 d、7 d)后,取样置于液氮干燥冷冻机上,干燥8 h,将制作好的核壳球干燥样本进行表面处理,放入扫描电镜观察。

### (3)乳液聚合物+核壳球复合体系微观结构扫描

将上述配制好的乳液聚合物凝胶和核壳球分散液按体积比1:1混合,然后将混和溶液置于液氮干燥冷冻机上干燥8 h;最后将制作好的乳液聚合物+核壳球复合体系干燥样本进行表面处理,放入扫描电镜观察。

#### 1.2.2 调驱体系静态性能评价

将上述配制好的乳液聚合物凝胶、核壳球分散液和乳液聚合物+核壳球复合体系放入65℃恒温箱中,采用Aton Paar界面流变仪(19686转子),在 $7.34\text{ s}^{-1}$ 的剪切速率下测定不同时间下的黏度。

#### 1.2.3 调驱体系动态性能评价

##### (1)填砂模型的制备

①准备与目标地层渗透率相匹配的露头砂若干,放入填砂模型中填制成与目标渗透率相符合的多孔介质模型;②填砂模型上连接好测压点,密封,抽真空、饱和地层水,计算孔隙体积及孔隙度;③测定填砂模型的水相渗透率;④将填砂模型放入65℃恒温箱中准备实验。

##### (2)1 m砂管内调驱体系封堵性实验

①以5 m/d流速向填砂模型内注入地层水至模型内部压力平稳;②以5 m/d流速向填砂模型内分别注入0.35 PV乳液聚合物溶液(前置段塞)、0.4 PV乳液型深部调驱体系和0.1 PV乳液聚合物溶液(后置段塞),记录驱替过程中压力变化(以5 m/d流速向填砂模型内注入0.4 PV的水化7 d的浓度为2000 mg/L的核壳球分散溶液,记录驱替过程中压力变化);③关闭注入端和采出端,在恒温箱中放置15 d后向填砂模型内注入后续水,记录驱替过程中压力

变化。

##### (3)10 m砂管内复合体系封堵性实验

①以5 m/d流速向填砂模型内注入地层水至模型内部压力平稳;②以5 m/d流速向填砂模型内分别注入0.1 PV乳液聚合物溶液(前置段塞)、1.1 PV乳液型深部调驱体系和1.1 PV核壳球体系,记录驱替过程中压力变化;③关闭注入端和采出端,在恒温箱中放置15 d,以5 m/d流速向填砂模型内注入后续水,记录驱替过程中压力变化。

## 2 结果与讨论

### 2.1 调驱体系的微观结构分析

乳液聚合物凝胶体系、核壳球和乳液聚合物凝胶+核壳球的微观结构扫描照片见图3。乳液聚合物凝胶(图3 a)的立体网络结构清晰,单层的网络交织分布明显,结构较薄,层与层之间连接紧密,网孔间有交联节点,可缠绕交织形成六边形或近圆形的孔洞;核壳球体系(图3 b、c)的结构清晰,分选性好,且粒径随水化时间的延长而逐渐增大。核壳球膨胀后,更易封堵孔隙半径较大的高渗通道,封堵性能增强;乳液聚合物凝胶+核壳球的复合体系(图3 d)的核壳球嵌入到聚合物凝胶网格中,使得之前单层的网络交织分布更加明显,结构变厚,由于核壳球的加入层与层之间的连接变得更加紧密,变成了“溶洞”骨架,且骨架内嵌有核壳球,形成了更加稳定的立体网络结构。与单一乳液聚合物凝胶体系相比,乳液聚合物凝胶+微球复合体系所形成的网格更粗,网络之间缠绕交织在一起的孔洞更不均匀,核壳球嵌入到凝胶网格中,使得单层的网络交织结构变厚。

### 2.2 不同调驱体系的静态性能

乳液聚合物凝胶体系、核壳球和乳液聚合物凝胶+核壳球复合体系的黏度随测试时间的变化见图4。对于乳液聚合物凝胶体系(图4 a),前20 d的乳液聚合物溶液黏度随着时间的延长而逐渐增大,乳液聚合物溶液逐渐形成胶状;20 d后,乳液聚合物溶液的黏度略有降低。静态条件下,乳液聚合物凝胶体系凝胶强度在15 d后达到最强,成胶时间长、强度相对较高,可满足注入体系在油藏中的深部调剖作用,同时体系的初始黏度高于水,可以明显改善流度比。对于核壳球体系,随着水化时间的延长,核

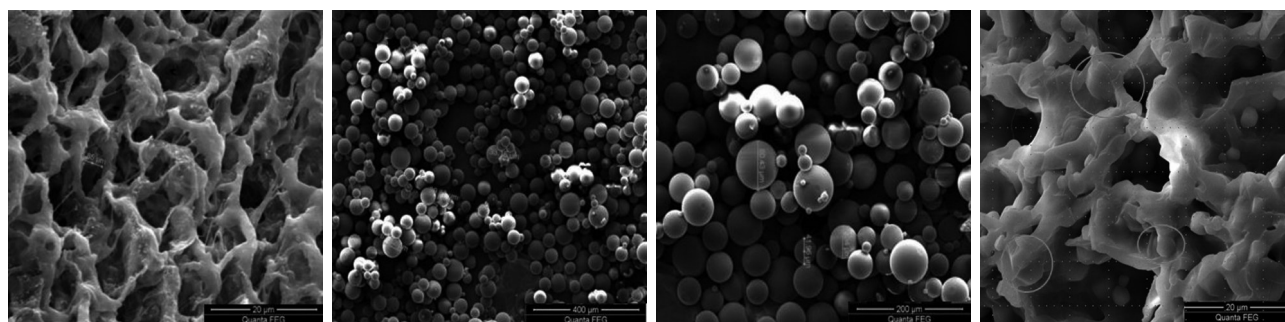


图3 乳液聚合物凝胶体系、核壳球和乳液聚合物凝胶+核壳球的微观结构扫描照片

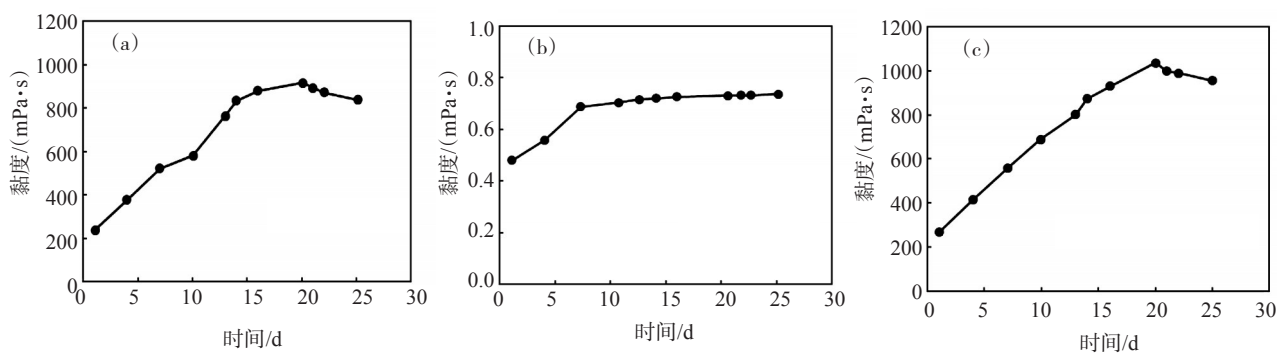


图4 乳液聚合物凝胶(a)、核壳球(b)和乳液聚合物凝胶+核壳球(c)体系的黏度随时间变化

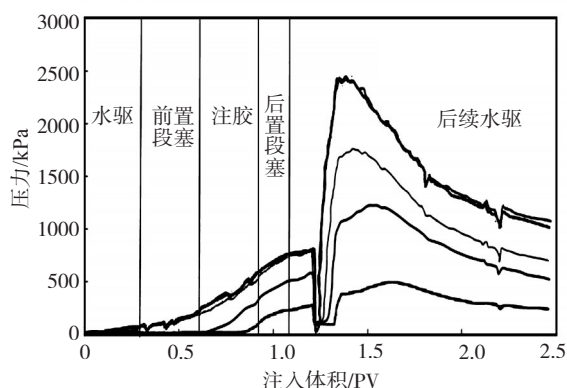
壳球体系的黏度逐渐增大,在3~7 d的黏度增幅最大(图4b)。随着时间的延长,水分子不断进入核壳球体系的大分子链空隙,使得核壳球体系的分子链开始伸展,核壳球在水中膨胀变大,黏度有所增加;由于短时间内核壳球未完全伸成分子链,仍独立成团,因此黏度变化较小。核壳球+乳液聚合物凝胶的复合体系(图4c)的成胶时间与乳液聚合物凝胶的成胶时间相比变化不大,但黏度和黏度保留率略有增加。核壳球与乳液聚合物凝胶体系形成复合体系后,不仅不会影响乳液聚合物凝胶体系的成胶时间,而且还增大了乳液聚合物凝胶的成胶强度,使复合体系在长距离运移过程中能保持良好的封堵性能和强度。

### 2.3 不同调驱体系的动态性能

#### 2.3.1 乳液聚合物凝胶体系的运移和封堵性能

多测压点填砂模型的采样点及测压点分布在距离入口端0、10、35、50和80 cm处。乳液聚合物凝胶深部调驱体系以5 m/d的注入速率注入填砂模型过程中各测压点的压力变化随注入体积变化如图5所示。水驱稳定后,测压点压力分别为49.23、

44.95、41.90、35.30和29.64 kPa,模型内部压差最高在20 kPa以内,压力分布均匀,说明填砂模型为均质模型。注入前置液期间,模型内部压力逐渐升高,平稳阶段的测压点压力分别为347.86、333.45、288.33、63.91和5.40 kPa,压力从注入端到模型内部分布逐渐降低,前置段塞占据了部分水流通通道,使注水压力升高。注胶阶段的压力较注前置段塞的高,且较为平稳;注入后置段塞阶段的压力较为平



曲线从上到下分别是距注入端0、10、35、50和80 cm处测压点的压力

图5 乳液聚合物凝胶深部调驱体系注入过程中填砂模型各测压点压力变化

稳,各测压点压力分别为 812.00、796.40、790.28、560.46 和 268.83 kPa。经历 15 d 的恒温老化后,后续水驱时各测压点的压力分别迅速上升至 2442.54、2426.34、1735.37、1095.71 和 388.83 kPa; 随后压力并非立刻降低而是随注水体积增加而逐渐降低,但也远高于注胶阶段的压力。说明凝胶段塞被注入水突破后,封堵体系在填砂模型内仍保持良好的封堵性能,但只停留在注入端附近。

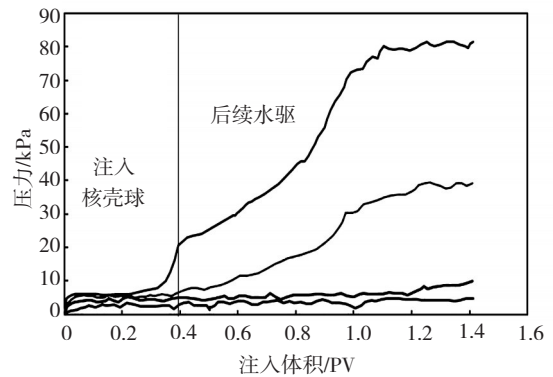
乳液聚合物凝胶对填砂管模型距注入端不同距离处的封堵情况如表 1 所示。1 m 填砂模型内,乳液聚合物凝胶调驱体系在 0.1 m、0.35 m、0.5 m 和 0.8 m 处的封堵率分别为 95.64%、94.14%、93.61% 和 88.33%,说明乳液聚合物凝胶调驱体系在 0.1~0.8 m 范围内均能保持良好的封堵性能。

表 1 乳液聚合物凝胶对填砂管模型距注入端不同距离处的封堵效果

测压点距注入端距离/m	水驱压力/kPa	突破压力/kPa	后续水驱压力/kPa	封堵率/%
0.10	44.95	2426.34	1031.50	95.64
0.35	41.90	1735.37	715.87	94.14
0.50	35.30	1095.71	552.66	93.61
0.80	29.64	388.84	254.13	88.33

2.3.2 核壳球体系的运移和封堵性能

多测压点填砂模型的采样点及测压点分布在距注入端 0、20、45 和 60 cm 处,水化 7 d 的浓度为 2000 mg/L 的核壳球分散溶液在注入填砂模型过程中的各测压点的压力随注入体积变化如图 6 所示。由图 6 可知,当注入 0.3 PV 核壳球体系时,入口端压力平缓上升,在注入核壳球体系过程中初期压力增长不明显;当后续水驱开始时,入口段压力升高很快,表明核壳球体系吸水膨胀后开始发生吸附沉积。后续水驱 1 PV 时,入口段压力持续上升并达到最大值 80 kPa,这表明核壳球吸水膨胀后,沉积和吸附作用逐渐发挥作用,体系前缘开始被封堵,其封堵和捕获能力导致后续注入的核壳球体系继续随注入水以同流速深部运移。压力在距离入口端 45 cm 和 60 cm 处变化不大,说明核壳球体系仅在入口端附近形成封堵。由于核壳球的沉积机理除了表面吸附和水动力学滞留外还有静电力吸附,因此核壳球体系大部分并未继续随注入水运移。



曲线从上到下分别是距注入端 0、20、45 和 60 cm 处测压点的压力  
图 6 核壳球体系注入过程中填砂模型各测压点压力变化

核壳球体系对填砂管模型距注入端不同距离处的封堵情况如表 2 所示。1 m 填砂模型内,核壳球调驱体系在距注入端 0.2 m 处的封堵率为 82.33%,说明核壳球产生了滞留封堵作用,而在距离入口端 0.6 m 处的封堵率仅 37.29%,说明核壳球调驱体系仅在入口端附近形成封堵,并未随注入水流至模型深处<sup>[11-13]</sup>。

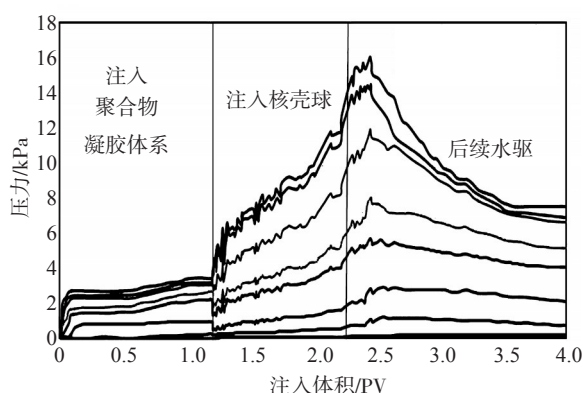
表 2 核壳球体系对填砂管模型距注入端不同距离处的封堵效果

测压点距注入端距离/m	水驱压力/kPa	后续水驱压力/kPa	封堵率/%
0	20.57	81.63	74.80
0.20	6.91	39.11	82.33
0.45	5.04	10.08	50.00
0.60	3.01	4.80	37.29

2.3.3 复合调驱体系的运移和封堵性能

多测压点填砂模型的采样点及测压点分布在距注入端 0、0.425、1.275、2.975、3.825、5.525、6.105、7.805 和 8.655 m (1~9 测压点) 处,考察复合调驱体系在注入填砂模型过程中的各测压点的压力随注入体积变化如如图 7 所示。水驱过程中,模型内部压力变化不大,注入 1 PV 的地层水后,模型各个压力点压力逐渐趋于平衡,测压点压力随与注入端距离的增加而降低,水驱结束后 1~9 测压点的平均压力分别为 206.08、202.82、201.65、165.70、105.85、86.08、56.05、54.89 和 33.72 kPa。

乳液聚合物凝胶体系的注入总量为 1.18 PV,注入量为 0~0.15 PV 时,1~6 测压点处压力呈直线



曲线从上到下分别是距注入端0、0.425、1.275、2.975、3.825、5.525 m处测压点的压力

图7 复合调驱体系过程中填砂模型各测压点压力变化

上升,乳液聚合物在靠近注入端附近聚集,压力上升较快;注入量为0.15~1.18 PV时,靠近注入端的驱替压力缓慢上升,而距注入端远的8测压点和9测压点压力变化不明显,说明段塞前缘继续推进,前端溶液被稀释,阻力降低,前端稀释液在出口逐渐流出,因此整体压力不变。

核壳球体系的注入总量为0.98 PV。1~3测压点处压力上升最快,注入端压力超过10 MPa,超过注入乳液聚合物交联体系的注入压力;4~6测压点处压力上升较缓慢,略高于注入乳液聚合物交联体系的注入压力;7~9测压点处压力几乎不变,压力值保持相对稳定。

开始后续水驱后,1~6测压点压力上升至一定压力后逐渐降低,体系被后续水驱突破。后续水驱突破后,距注入端越远,压力下降越缓慢。说明凝

表3 距注入端不同距离乳液聚合物+核壳球复合调驱体系封堵率

距离/m	水驱压力/kPa	突破压力/MPa	后续水驱压力/kPa	封堵率/%
0	206.08	16.04	7545.75	97.27
0.425	202.82	12.90	7179.22	97.17
1.275	201.65	11.90	6936.69	97.09
2.975	165.70	8.02	5516.55	97.00
3.825	105.85	5.75	4256.43	97.51
5.525	86.08	2.82	2425.74	96.45
6.105	56.05	1.12	878.59	93.62
7.805	54.89	0.23	252.52	78.26
8.655	33.72	0.17	202.52	83.35

胶段塞被注入水突破后,封堵体系在填砂模型内仍保持良好的封堵性能。

乳液聚合物凝胶+核壳球复合体系对填砂管模型距注入端不同距离处的封堵情况如表3所示,10 m填砂模型内,乳液聚合物凝胶+微球深部调驱复合体系对调驱模型距注入端6 m内的封堵率均超过90%,与乳液聚合物凝胶体系及核壳球体系相比较,该复合体系具有长距离运移稳定、封堵范围更大和封堵效果更好等优势。

### 3 结论

针对海上油田特点,在长距离运移中利用乳液聚合物和核壳球复合体系调驱具有良好的封堵性能。乳液聚合物凝胶体系在初期具有良好的注入性,但在后续水驱过程中易被突破,而核壳球与乳液聚合物凝胶复合后,可以对乳液聚合物凝胶起到加固作用,并使液流转向能力增加,从微观结构、静态特征以及运移能力等方面增强了复合体系封堵性能。乳液聚合物凝胶+核壳球复合调驱体系的封堵性能较两者单独使用时的效果有很大提升,既可保证入口端封堵率增大,又可保证后续长距离运移过程中封堵率良好。

#### 参考文献:

- [1] 张宁, 阎亮, 张润芳, 等. 海上稠油油田非均相在线调驱提高采收率技术——以渤海B油田E井组为例[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(3): 387-391.
- [2] 徐玉霞, 柴世超, 廖新武, 等. 在线调驱技术在海上河流相稠油油田中的应用[J]. 特种油气藏, 2015, 22(3): 111-113.
- [3] 刘玉莉, 秦义, 廖锐全, 等. 复合交联剂对耐温抗盐型HPAM弱凝胶性能的影响[J]. 武汉科技大学学报, 2014, 37(5): 379-381.
- [4] 陈效领, 李帅帅, 苏盈豪, 等. 抗高温聚合物压裂液复合交联剂的研制[J]. 石油与天然气化工, 2016, 45(4): 59-63.
- [5] 王刚. 多重乳液型深部调驱剂的研制及其性能评价[D]. 大庆: 东北石油大学, 2015, 2-16.
- [6] 赖南君, 闻一平, 傅波, 等. 复合交联聚合物弱凝胶体系的研制与性能评价[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(3): 87-91.
- [7] LEI Guanglun, LI Lingling, HISHAM A, et al. New gel aggregates to improve sweep efficiency during water flooding [C]. SPE 129960PA, 2011.
- [8] 吕鹏, 阎亮, 王成胜, 等. 海上油田在线组合调驱提高采收率技术——以渤海C油田E井组为例[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(9): 164-167.

- [9] 徐鹏,王新华,刘欣. 聚合物乳液在线调驱技术的研究[J]. 科学技术与工程,2014,14(6): 143-146.
- [10] 王崇阳,蒲万芬,赵田红,等. 高温高盐油藏新型表面活性剂微球复配体系调驱实验[J]. 油气地质与采收率,2015,22(6): 107-111.
- [11] 任涛. 微球体系在多孔介质中的长距离运移规律研究[D]. 北京: 中国石油大学,2014,44-51.
- [12] 孙靓靓. 海上油田聚合物微球调驱适应性评价实验研究[D]. 北京: 中国石油大学,2015,6-18.
- [13] 张鹏,贾振福,周成裕,等. 调驱用聚合物微球存在的两个问题及其对策[J]. 大庆石油地质与开发,2017,36(4): 95-100.

### Evaluation and Long-distance Transportation Characteristics of Online Composite Conformance Agents

LI Yan<sup>1,2,3</sup>, HOU Jirui<sup>1,2,3</sup>, WANG Xiangzeng<sup>4</sup>, ZHAO Fenglan<sup>1,2,3</sup>, WANG Zhixing<sup>1,2,3</sup>, YI Wenjun<sup>1,2,3</sup>

(1. Research Institute of Enhanced Oil Recovery, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, P R of China; 2. Basic Theory Laboratory of Improved Oil Recovery in Low Permeability Oil Fields, Tertiary Oil Recovery Key Laboratory, PetroChina, Beijing 102249, P R of China; 3. Key Laboratory of Greenhouse Gas Sequestration and Petroleum Exploitation, Beijing 102249, P R of China; 4. Shaanxi Key Laboratory of Carbon Dioxide Sequestration and Enhanced Oil Recovery (under planning), Xi'an, Shaanxi 710075, P R of China)

**Abstract:** Due to the small space of offshore platforms and the shortage of fresh water resources, traditional powder polymer and its injection allocation are difficult to be widely applied in offshore oilfield. The emulsified polymer gel and polymer microsphere agent have the dual functions of profile control and oil displacement, which has been successfully applied in some offshore oilfield platforms. In order to further clarify the law of deep migration of profile control agents, the micro structure observation and static evaluation of emulsified polymer gel, core-shell microsphere and their composite systems were carried out. Based on the evaluation results, the dynamic blocking experiments of 1 m and 10 m sand pipes were conducted to evaluate the effect of different profile control agents. The results showed that the structure grid of the composite agent was thicker. The core-shell microsphere was embedded in the gel grid, which made the network interweaving structure of the single layer be thicker and the gel strength be higher. Meanwhile, the breakthrough pressure of the subsequent water flooding was the highest in the long-distance migration process of the composite agent. The breakthrough pressure of 2.975 m reached 8.01 MPa, moreover, the blocking rate of the majority of the measuring points along the path was more than 90%. It indicated that the blocking performance of the composite system was better than that of the single system. The study of long-distance transport characteristics of online composite profile control agents could provide technique solution and theoretical guidance for the evaluation of deep profile control agents in offshore oilfield.

**Keywords:** offshore oilfield; online deep profile control; composite agent; blocking performance; transportation characteristics