

# 风城超稠油 O/W 降黏体系评价研究

王迪<sup>1,2</sup>, 周庆<sup>1</sup>, 王亮<sup>3</sup>, 霍进<sup>3</sup>, 丁彬<sup>2\*</sup>, 罗健辉<sup>2</sup>

(1. 中国石油大学(北京), 北京 102249; 2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;

3. 中国石油新疆油田分公司风城作业区, 新疆 克拉玛依 834000)

**摘要:**以风城超稠油为研究对象, 采用自制活性大分子降黏剂制备了风城超稠油 O/W 降黏体系, 以超稠油 O/W 降黏体系的初始表观黏度为主要评价手段, 系统考察了降黏剂用量、含水量、初始搅拌转速对风城超稠油 O/W 降黏体系初始表观黏度的影响。室内实验结果表明: 活性大分子降黏剂对风城超稠油具有良好的初始降黏效果, 在活性大分子降黏剂用量 0.1%~0.2%、油水质量比 10:3~10:4、初始搅拌转速不小于 400 r/min 条件下, 得到的风城超稠油 O/W 降黏体系初始表观黏度小于 600 mPa·s, 降黏效果显著。

**关键词:**超稠油 活性大分子降黏剂 降黏剂 O/W 降黏体系 初始表观黏度

中图分类号: TQ357.46 文献标识码: A

风城超稠油黏度高、易凝固、埋藏浅, 被世界称为“流不动的油田”。其高黏问题已经严重制约风城超稠油的开采和输送, 如何有效降低风城超稠油表观黏度, 大幅度改善超稠油流动性, 对风城超稠油的高效开发具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。

目前, 国内外通常使用加热降黏、稀释降黏和表面活性剂降黏三种方法降低超稠油表观黏度<sup>[3-4]</sup>。其中表面活性剂降黏由于最具技术、经济价值, 一直是稠油降黏的研究热点<sup>[5]</sup>。表面活性剂降黏是使超稠油、水及表面活性剂相互作用形成以油为内相, 水为外相的 O/W 乳状液, 以此降低超稠油初始表观黏度<sup>[6]</sup>。常见的稠油 O/W 降黏理论主要有定向楔理论、界面张力理论、界面理论、电效应理论和 DLVO 理论<sup>[7]</sup>, 稠油 O/W 降黏体系的性能主要归因于界面的位阻效应和界面黏弹性<sup>[8]</sup>。在超稠油 O/W 体系中, 稠油液滴之间的相互碰撞可以使液滴表面的界面膜发生微观形变, 微观形变会加重超稠油 O/W 体系中液滴的聚并程度, 所以通常来说, 一般的表面活性剂降黏需要采用多种类型表面活性剂进行复配, 通过不同结构表面活性剂的协同效应实现降低超稠油表观黏度的目的。一方面, 在油、水界面附近形成稳定的界面膜; 另一方面, 需要利用离子型表面活性剂的电荷效应形成双电子层 (Stern 层), 防止液滴之间的彼此接近, 利用协同效应使稠油液滴不易发生聚并, 从而形成超稠油 O/W 降黏体系<sup>[9]</sup>。

但复配表面活性剂体系存在很多问题, 例如: 超稠油进行地面集输时往往伴随着运动、剪切等外力作用, 易使复配表面活性剂剪切分离, 而复配的表面活性剂体系中如果一种表面活性剂性能失效, 则整个复配体系的协同作用消失, 超稠油表观黏度会瞬间增大, 甚至形成“油包水”状态, 失去降黏效果<sup>[10-11]</sup>; 另外, 复配表面活性剂还需要考虑对高黏原油的适应性、组分间的配伍性。

基于复配表面活性剂降黏存在局限性, 笔者设计并制备了具有强亲油弱亲水结构的活性大分子降黏剂, 当超稠油在水中受到剪切、搅拌作用被分散成小颗粒的瞬间, 含有苯环结构的强亲油基团可以有效地吸附在超稠油液滴表面, 此时带有阴离子结构的弱亲水基团与水可以在超稠油液滴外层形成亲水隔离膜, 依靠阴离子基团的电荷排斥作用阻止超稠油颗粒之间的聚并, 以此实现在较低温度条件下大幅度降低超稠油体系表观黏度, 改善超稠油流动性, 满足对地面集输的实际要求。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原料及仪器

风城超稠油, 由中国石油新疆油田分公司风

收稿日期: 2012-08-15; 修改稿收到日期: 2012-12-24。

作者简介: 王迪(1987-), 在读硕士。

基金项目: 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”资助(2011ZX05032-003)。

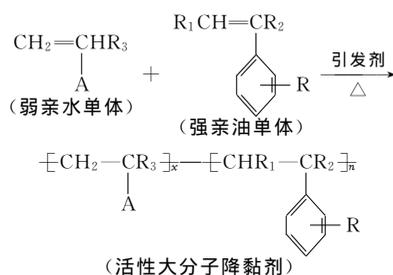
\* 通信联系人, E-mail: dingb@petrochina.com.cn。

城作业区提供,基本物性:密度(20 ℃)为 0.965~0.984 kg/m<sup>3</sup>;表观黏度(50 ℃)为 15 870~33 390 mPa·s;沥青质和胶质质量分数分别约为 3.5%和 25.35%。活性大分子降黏剂(以下简称降黏剂),实验室自制,兼具有非离子/阴离子特性的含苯环活性大分子。

XMTD-6000 电热恒温水浴, JJ-1 型精密定时电动搅拌器, PB4002-N 型电子精密天平, R/S 流变仪(美国 Brookfield 公司)。

## 1.2 活性大分子降黏剂合成

将 10%~90%的弱亲水单体、90%~10%的强亲油单体、4%的辅料(渗透剂、增溶剂等)加入聚合容器中,通氮脱氧 40 min,搅拌下升温至 50~70 ℃,加入 0.1%~5%(优选 1%)的 AIBN 引发聚合 2~4 h,即得到带有强亲油弱亲水结构的活性大分子降黏剂<sup>[12]</sup>。聚合反应式如下:



弱亲水单体中的 R<sub>3</sub> 代表 H 或 C<sub>1</sub>~C<sub>4</sub> 烷基; A 代表 COOM、OM、SO<sub>3</sub>M; M 代表 H、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 或 C<sub>1</sub>~C<sub>8</sub> 烷基、C<sub>1</sub>~C<sub>8</sub> 烷基醚或 C<sub>1</sub>~C<sub>8</sub> 烷基酯。R<sub>3</sub> 的筛选主要影响活性大分子降黏剂的抗盐性能,随碳数的增加,活性大分子的抗盐能力增强。

强亲油单体中的 R、R<sub>1</sub> 和 R<sub>2</sub> 代表 H 或 C<sub>1</sub>~C<sub>12</sub> 烷基。R、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub> 的筛选主要影响活性大分子降黏剂的亲油性,随碳数的增加,活性大分子的亲油性增大。

## 1.3 风城超稠油 O/W 降黏体系制备

将风城超稠油、降黏剂和水按一定比例加入 500 mL 烧杯中,在指定的恒温水浴中预热 30 min,保持恒温条件,采用精密定时电动搅拌器在一定的搅拌转速条件下搅拌 1 min,即得到黑褐色的风城超稠油 O/W 降黏体系。

## 1.4 风城超稠油 O/W 降黏体系性能评价

在 250 mL 高型烧杯中加入 200 mL 制备好的风城超稠油 O/W 降黏体系,采用 R/S 流变仪在 50 ℃、50 s<sup>-1</sup> 的条件下测定风城超稠油 O/W 降黏体系的表观黏度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 降黏剂用量对初始表观黏度的影响

图 1 为降黏剂用量对风城超稠油 O/W 降黏体系的影响。由图 1 可见:风城超稠油 O/W 降黏体系的初始表观黏度随着降黏剂用量的增加先降低后增加。当降黏剂含量较低时( $w < 0.1\%$ ),降黏剂无法与水形成足够的隔离膜来降低初始表观黏度;随着降黏剂用量的不断增加( $0.1\% < w < 0.2\%$ ),风城超稠油 O/W 降黏体系的初始表观黏度随之降低,并在 0.2% 左右达到最小值,这主要是因为在此条件下 O/W 体系中形成的稠油液滴粒径小,且与水形成的亲水隔离膜可以有效防止稠油液滴之间的聚并;继续增加降黏剂用量,风城超稠油 O/W 降黏体系的初始表观黏度随之增加,这主要是因为过多的降黏剂会使超稠油分散成尺寸更小、数目更多的液滴,体系的总比表面积不断增大,形成亲水隔离膜所需水量也变得越来越多,所以在体系含水量不充足时,反而使得体系中部分超稠油液滴发生自发聚集的倾向而导致聚并粘连,表观黏度不断增加。

综合图 1 的结果可以看出:在降黏剂质量分数为 0.1%~0.2% 制备的风城超稠油 O/W 降黏体系表观黏度小于 600 mPa·s,初始降黏效果显著。

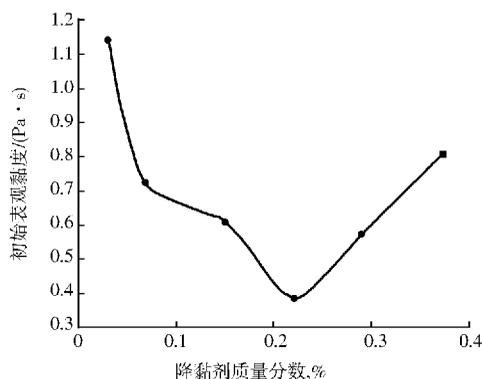


图 1 降黏剂质量分数与降黏体系初始表观黏度的关系  
 $m(\text{油}) : m(\text{水}) = 10 : 3$ 。

### 2.2 油水比对初始表观黏度的影响

图 2 为油水比对风城超稠油 O/W 降黏体系的影响。由图 2 可见:含水量对风城超稠油 O/W 降黏体系影响显著,风城超稠油 O/W 降黏体系的初始表观黏度随含水量的增加先降低后趋于平稳。当油水比小于 10:3 时,体系的初始表观黏度较大,这主要是因为体系中含水量少,降黏剂与水无法形成足够的隔离膜阻止超稠油液滴之间的聚并。随着水量的增加,风城超稠油 O/W 降黏

体系初始表观黏度也随之降低,当油水比超过 10:5 后,超稠油颗粒表面基本形成带有降黏剂的水膜,使其在水中可以完全均匀分散<sup>[13-14]</sup>。若继续增加体系含水量,不会继续增加超稠油颗粒、降黏剂与水之间的相互作用,只是适当增大超稠油颗粒之间的距离,改善了超稠油颗粒在水中的分散效果,所以风城超稠油 O/W 降黏体系的表观黏度基本保持不变。

结合稠油集输对整个体系表观黏度的要求、后期破乳脱水工艺及水添加量对整体经济效益的影响,油水质量比控制在 10:(3~4) 较适宜。

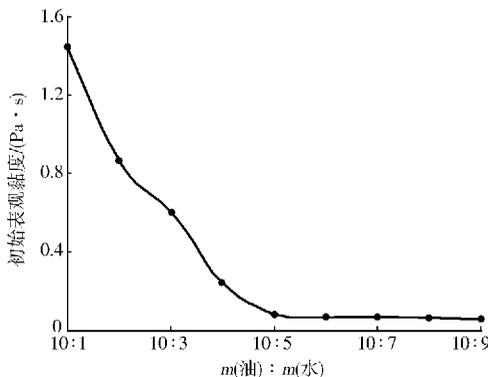


图2 油水质量比对降黏体系初始表观黏度的关系  
 $m(\text{油}):m(\text{降黏剂})=100:0.2$ 。

### 2.3 初始搅拌转速对初始表观黏度的影响

图3为不同初始搅拌转速对风城超稠油 O/W 降黏体系的影响。由图3可见:在体系含水量较为充足的条件下,风城超稠油 O/W 降黏体系的表观黏度随搅拌转速的增大而降低。这是因为搅拌转速越大,形成的稠油液滴尺寸越小,越易使降黏剂、油和水充分混合,使降黏剂在油水界面上的排列更规则、更致密;体系中的稠油液滴尺寸更小,也可以有效降低超稠油 O/W 体系的表观黏度。

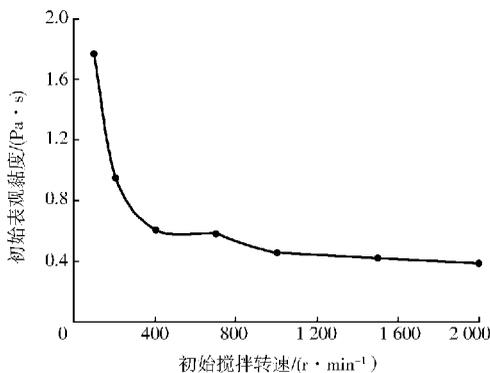


图3 初始搅拌转速对降黏体系初始表观黏度的影响  
 $m(\text{油}):m(\text{水})=10:3, w(\text{降黏剂})=0.15\%$ 。

综合图3的结果,在初始搅拌转速不小于

400 r/min 条件下得到的风城超稠油 O/W 体系的初始表观黏度小于 600 mPa·s, 具有较好的流动性能。

### 3 结论

设计并合成了具有强亲油弱亲水结构的活性大分子降黏剂,在非复配条件下,实现了对风城超稠油的高效降黏,克服了复配表面活性剂的缺点,在活性大分子降黏剂用量 0.1%~0.2%、油水质量比 10:(3~4)、初始搅拌转速不小于 400 r/min 的条件下,大幅度降低了风城超稠油表观黏度,形成的风城超稠油 O/W 降黏体系初始表观黏度小于 600 mPa·s,这对于超稠油冷采开发与集输具有深远意义。

### 参 考 文 献

- [1] 吴旭,乔英杰,王世虎,等. 新型聚合物降黏剂稠油降黏效果的研究[J]. 应用化工,2009,38(8):1087-1104.
- [2] 王霞,杨大庆,张仁勇,等. 超稠油用乳化降黏剂的性能评价[J]. 应用化工,2011,40(9):1629-1632.
- [3] 丁彬,刘玉章,罗健辉,等. 委内瑞拉稠油水包油乳化降黏的研究[J]. 石油化工,2011,40(2):185-188.
- [4] 杨思妍,陈馥,周慧,等. 油溶性四元聚合物 MASM 稠油降黏剂的合成研究[J]. 应用化工,2011,40(2):299-303.
- [5] 周风山,吴瑾光. 稠油化学降黏技术研究进展[J]. 应用化工,2001,18(3):268-272.
- [6] 孟江,郑猛. 高凝稠油乳化降凝降黏试验与研究[J]. 油气储运,2006,25(9):49-52.
- [7] 孟江,向阳,魏小林,等. 稠油 O/W 乳液中多重乳滴对稳定性的影响[J]. 西南石油学院学报,2006,28(5):89-94.
- [8] 任智,陈志荣,吕德伟,等. 界面结构和 HLB 乳化规则 I. 界面模型与稳定机理[J]. 日用化学工业,2000,2(1):5-10.
- [9] Reddy S R, Melik D H, Fogler H S. Emulsion Stability-Theoretical Studies on Simultaneous Flocculation and Creaming[J]. Colloid Interface Sci, 1981, 82(1): 116-127.
- [10] 刘忠运,李莉娜. 稠油乳化降黏剂研究现状及其发展趋势[J]. 精细化工原料及中间体,2009,10:24-27.
- [11] 上官昌淮,吴限,邹传黎,等. 稠油降黏剂复配及降黏效果研究[J]. 精细石油化工进展,2009,10(9):6-8.
- [12] 罗健辉,卞德智,丁彬,等. 一种表面活性剂及其制备和应用:中国,201010197900.1[P]. 2010-06-11
- [13] Binks B P, Lumsdon S O. Catastrophic Phase Inversion of Water-in-Oil Emulsions Stabilized by Hydrophobic Silica[J]. Langmuir, 2000, 16(6): 2539-2547.
- [14] Salager J L, Márquez L, Alejandro A P, et al. Current Phenomenological Know-How and Modeling of Emulsion Inversion[J]. Ind Eng Chem Res, 2000, 39(8): 2665-2676.

# 阳离子胶原蛋白共聚物絮凝剂 在废弃钻井液中的应用研究

任龙芳, 赵国徽, 强涛涛, 王学川\*, 张晓峰

(陕西科技大学轻化工助剂化学与技术省部共建教育部重点实验室, 陕西 西安 710021)

**摘要:**通过胶原蛋白水解液与阳离子单体甲基丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵(DMC)接枝共聚,在氮气保护下,以叔丁基过氧化氢和焦亚硫酸钠为引发剂,制备了阳离子胶原蛋白共聚物絮凝剂(PCDMC)。将 PCDMC 应用于废弃钻井液的无害化处理,以色度、 $P_{\text{COD}}$ (化学需氧量的去除率)和  $P_{\text{SS}}$ (悬浮物的去除率)为考察指标,采用单因素分析方法得到 PCDMC 的较佳工艺参数为:每 100 mL 废弃钻井液 PCDMC 用量 20 mL(絮凝剂的浓度为 10 g/L),絮凝体系的 pH 值为 7.0。将 PCDMC 与工业品絮凝剂应用效果进行对比,结果表明:PCDMC 具有较强 COD 和悬浮物的去除率,并对重金属铬、镉、铅等具有较好的去除效果,处理后污水达到了排放二级标准。

**关键词:**胶原蛋白 甲基丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵 接枝共聚 絮凝剂

中图分类号:TE357.1<sup>+</sup>4 文献标识码:A

废弃钻井液中含有大量的黏土、钻屑和各种处理剂,其中对环境危害最大的物质是高质量分数的盐溶液和可交换钠离子,其次是油类、可溶性重金属离子(如  $\text{Cr}^{3+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  和  $\text{Ba}^{2+}$  等)、有机污染物(如多环芳烃、酚类、卤代烃、有机硫化物、有机磷化物、醛类和胺类等)、高 pH 值处理剂(如  $\text{NaOH}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液)、高分子有机物特别是降解后的小分子有机物。其

中 Cr、有机化合物、Hg、Cd、As 及 Pb 的毒性很大,并能在环境或动植物体内蓄积,对人体产生不

收稿日期:2012-08-08;修改稿收到日期:2012-12-20。

作者简介:任龙芳(1981-),女,工学博士,副教授,主要从事超支化聚合物合成应用、超细纤维合成革、胶原纤维改性的研究和皮革固体废弃物的资源化利用。E-mail:renlf1010@163.com。

基金项目:陕西省“13115”科技创新工程重大科技专项项目(2010ZDKG-61),陕西省教育厅科技计划项目(12JK0594),西安市未央区科技计划项目(201118),陕西科技大学研究生创新基金资助。

\* 通信联系人, E-mail:wxc-mail@163.com。

## RESEARCH ON THE EFFECT OF OIL-IN-WATER VISCOSITY REDUCTION FOR FENGCHENG ULTRA HEAVY OIL

Wang Di<sup>1,2</sup>, Zhou Qing<sup>1</sup>, Wang Liang<sup>3</sup>, Huo Jin<sup>3</sup>, Ding Bin<sup>2</sup>, Luo Jianhui<sup>2</sup>

(1. China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 3. Fengcheng Oilfield Operation District, Xinjiang Oilfield Company, Petrochina, Karamay 834000, Xinjiang, China)

**Abstract:** The oil-in-water (O/W) for Fengcheng ultra heavy oil viscosity reduction was prepared by using active macromolecule viscosity reducer. The effects of viscosity reducer concentration, oil-water ratio, initial agitating speed on the initial emulsification were investigated by its apparent viscosity. Experimental results show that: the O/W ultra heavy oil viscosity reduction prepared by viscosity reducer has a better effect on the apparent viscosity. Under the conditions that the amount of viscosity reducer 0.1%-0.2%, oil-water ratio 10 : (3-4), initial agitating speed more than 400 r/min, the initial apparent viscosity would be less than 600 mPa · s.

**Key words:** ultra heavy oil; active macromolecule viscosity reducer; viscosity reducer; oil-in-water viscosity reduction; initial apparent viscosity