

一种聚合物纳米微球调驱剂的制备及性能评价

冯全宏, 屈策计, 张 伟, 张艳妮

(延长油田股份有限公司 吴起采油厂, 陕西 延安 716000)

摘 要: 针对延长油田某油田储层非均质性强、窜流通道普遍分布、注入水低效或无效循环、水驱波及体系小的特点, 研制了一种适应于低渗油藏的纳米微球调驱剂 WQ-3, 通过室内实验评价了其微观形貌、膨胀性能、黏弹性能以及耐剪切性能, 并借助岩心流动实验评价了该调驱剂在非均质岩心中的调驱性能。结果表明, 纳米微球 WQ-3 为圆度很好的球形纳米颗粒, 平均粒径为 404.92 nm, 在 80 ℃、模拟地层水中, 纳米微球调驱剂吸水 24 h 后的膨胀倍数为 34.96 g/g。纳米微球 WQ-3 吸水后具有明显的黏弹性能, 表现出软固体的性质, 在高剪切速率下, 纳米微球 WQ-3 体系具有较好的耐剪切能力; 非均质岩心注入纳米微球 WQ-3 体系后, 注入压力上升迅速, 采收率增加高达 14.25%。

关键词: 低渗储层; 纳米微球; 黏弹性能; 调驱性能

中图分类号: TE357.46

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1672-6952.2019.04.005

Preparation and Performance Evaluation of Nano-Microsphere Oil Displacement Agent Suitable to Offshore Heavy Oil Field

Feng Quanhong, Qu Ceji, Zhang Wei, Zhang Yanni

(Wuqi Oil Production Plant, Yanchang Oilfield Co., Ltd., Yan'an Shaanxi 716000, China)

Abstract: Aiming at the reservoir characteristics of strong reservoir heterogeneity, circulation way widely distributed and poor water flooding effect in X oilfield of yanchang, a kind of nano-microsphere oil displacement agent WQ-3 was synthesized. The microstructure, swelling property, viscoelasticity and shear resistance performance were evaluated through the indoor experiments. The core-flow experiment was used to evaluate the performance of the regulator in heterogeneous core. The results showed that nano-microsphere WQ-3 are spherical nanoparticles with good roundness and the average particle size is 404.92 nm. At 80 ℃ in simulated formation water, the expansion ratio of the nano-microspheres after 24 h of water absorption is 34.96 g/g. Nano-microsphere WQ-3 has obvious viscoelastic properties after water absorption, showing the properties of soft solids. At high shear rate, nano-sphere WQ-3 system has better shear resistance; the injection pressure rises rapidly and the oil recovery increased as high as 14.25% of the injection of WQ-3 system.

Keywords: Type of reservoirs; Nano-microsphere; Viscoelasticity property; Profile control property

王洼子油田长2油层为低渗储层, 储层非均质性较强。在长期的水驱开发过程中, 油水井之间水驱剖面不均匀, 窜流通道普遍分布, 部分油井爆性水淹, 水驱效果差。通过密闭取心资料研究发现, 发生水淹的部位主要分布在油藏底部, 油藏顶部剩余油大量分布, 这充分说明了水驱的波及效果有限, 急需一种适应于低渗非均质油藏的调驱剂以实现水窜通道的封堵^[1-4]。由于油藏非均质性带来的开发难度增大, 因此必须改善油田的水驱开发效

果, 实现控水稳油^[5-8]。目前国内外研究和利用较多的调驱体系为弱凝胶体系、泡沫体系、可动凝胶体系等, 但是这些调驱剂在低渗非均质油藏调驱应用过程中, 由于强度低和选择性差的缺点, 现场应用效果有限^[9-11]。纳米微球调驱剂是近几年发展起来的一种新型深部调驱剂, 对油田的控水稳油具有很好的适应性^[12-14]。纳米微球是粒径为纳米级别的凝胶类颗粒, 在油藏深部运移过程及封堵中受地层环境的影响较小^[15]。本文研制了一种适应于低渗油藏

收稿日期: 2019-04-30 **修回日期:** 2019-05-21

作者简介: 冯全宏(1981-), 男, 工程师, 从事油田勘探开发方面的研究; E-mail: 376226300@qq.com。

的纳米微球调驱剂 WQ-3,通过室内实验评价了其微观形貌、膨胀性能、黏弹性能以及耐剪切性能,并借助岩心流动实验评价了该调驱剂在非均质岩心中的调驱性能。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

丙烯酰胺(AM)、过硫酸铵(APS)、无水碳酸钠、氯化钠、氯化钾、氯化钙、六水合氯化镁、硫酸钠、碳酸氢钠,分析纯,上海晶纯生化科技股份有限公司;固体交联剂 CD-1、蒸馏水,实验室自制;无水乙醇,分析纯,天津市外环化工有限公司;SP-80,广东润华化工有限公司;航空煤油,工业品,市售。模拟地层水,总矿化度为 100 686 mg/L,水型为 CaCl_2 型。实验用油为试验区模拟原油,地层原油黏度为 104 mPa·s。实验用岩心为三层非均质岩心(4.5 cm×4.5 cm×30.0 cm),其渗透率分别为 40×10^{-3} 、 80×10^{-3} 、 $120\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

RS600 型流变仪, Hakker 公司;7012S 型搅拌机, Warning 公司;SMZ18 体视显微镜,上海蔡康光学仪器厂;激光粒度分析仪,英国马尔文仪器有限公司;FD53 恒温箱,德国宾得公司;HJ-4 多头磁力加热搅拌器,常州国华仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 纳米微球 WQ-3 的制备方法 将 0.5 g 分散剂 SP-80 和 50 mL 加入反应烧瓶中,开始搅拌,使分散剂均匀溶解在航空煤油中,通入氮气,将 18 g 过硫酸铵、丙烯酰胺、无水碳酸钠和固体交联剂 CD-1 的混合溶剂加入反应烧瓶中,滴加速度为 4 mL/min,滴完后将反应烧瓶放置 65 ℃ 的恒温水浴中,以转速为 600 r/min 搅拌 5 h 后停止搅拌,冷却 2 h,将上层液倒出,下层产物洗涤、烘干即为纳米微球 WQ-3。

1.2.2 纳米微球 WQ-3 的性能分析

(1)微观形貌。利用体视显微镜观察纳米微球 WQ-3 的外观形貌。借助激光粒度分析仪测定吸水膨胀前的纳米微球 WQ-3 的粒径。

(2)膨胀性能。采用激光粒度分析仪评价纳米微球的膨胀性能。

(3)黏弹性能。在温度为 80 ℃ 下配制纳米微球体系,膨胀 48 h 后,用滤纸过滤,得到吸水膨胀后的纳米微球颗粒,利用 RS600 Hakker 流变仪的锥板系统测量吸水膨胀后纳米微球的黏弹性。测量方法为:在温度为 80 ℃ 下,测定纳米微球在不同震荡频

率的弹性模量和黏性模量。

(4)耐剪切性能。在试验区模拟地层水中配制两组 2 000 mg/L 的纳米微球体系,在温度为 80 ℃、剪切速率为 600 r/min 和 6 000 r/min 的条件下,测定体系的表观黏度 η_0 。剪切 20 s 后,每隔 10 min,在温度为 80 ℃、剪切速率为 6 r/min 的条件下,测定体系的表观黏度 η_t 。当体系黏度变化不大时,计算表观黏度保留率 $R_\eta=(\eta_t/\eta_0)\times 100\%$ 。

1.2.3 纳米微球调驱剂的调驱性能 称量非均质岩心质量,对其抽真空 5 h 后,饱和模拟地层水,再次称量非均质岩心质量,并计算孔隙度。在温度为 80 ℃ 下,将非均质岩心放置岩心夹持器中,加压至 5 MPa,计算水测渗透率;注入模拟原油,待岩心出口处不出水时停止注入原油,计算原始含油饱和度;在水驱速度为 0.3 mL/min 下,水驱非均质岩心至含油率小于 2%,停止水驱,计算水驱采收率;在注入速度为 0.3 mL/min 下,注入质量浓度为 2 000 mg/L 的纳米微球体系 0.3 PV(0.1 PV 微球+0.1 PV 水驱+0.1 PV 微球),计算含水率和采收率;后续水驱至岩心出口处含水率大于 98% 时,计算最终采收率。

2 结果与讨论

2.1 纳米微球的微观形貌

图 1 和图 2 分别为纳米微球膨胀前的微观形貌和粒径分布。

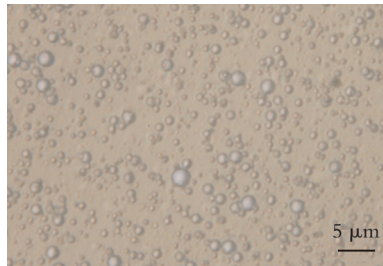


图1 纳米微球膨胀前的微观形貌(1 000 倍)

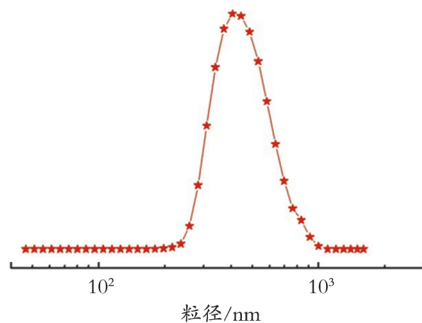


图2 纳米微球膨胀前的粒径分布

从图 1 和图 2 可以看出,制备的纳米微球 WQ-3 为圆度很高的球形颗粒,粒径分布为 148.68~1 092.40 nm,其平均粒径为 404.92 nm。

2.2 纳米微球的膨胀性能

图 3 为纳米微球的吸水膨胀倍数随时间的变化。从图 3 可以看出,初始阶段,纳米微球的吸水膨胀倍数增加缓慢,随着时间的增加,吸水膨胀倍数的增长逐渐加快,24 h 时吸水膨胀倍数为 34.96 g/g,24 h 后吸水膨胀倍数趋于稳定。由此可见,纳米微球 WQ-3 具有很好的膨胀性。

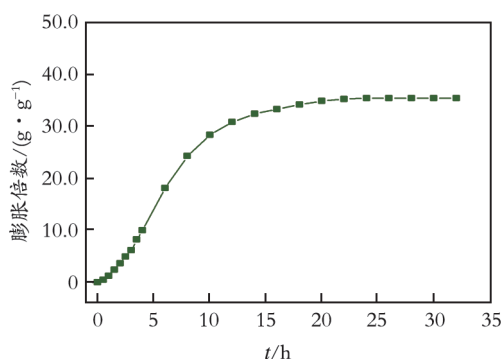


图 3 纳米微球的吸水膨胀倍数随时间的变化

2.3 纳米微球的黏弹性性能

图 4 为纳米微球膨胀后弹性模量和黏性模量随震荡频率的变化。从图 4 可以看出,纳米微球 WQ-3 吸水膨胀后的弹性模量和黏性模量分别为 2 700 Pa 和 470 Pa,弹性模量大于黏性模量。从黏弹性数据可以看出,吸水膨胀后的纳米微球 WQ-3 表现出软固体的特性,同时也说明纳米微球 WQ-3 吸水膨胀后在多孔介质中能发生变形运移的本质。

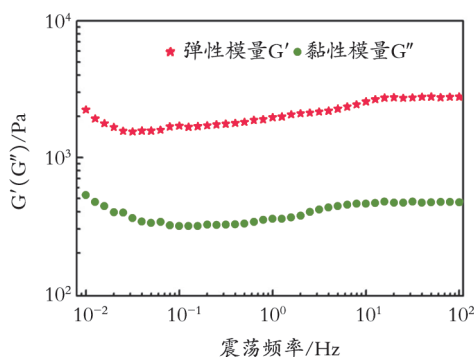


图 4 纳米微球的弹性模量和黏性模量随震荡频率的变化

2.4 纳米微球的耐剪切性能

图 5 为质量浓度 2 000 mg/L 的纳米微球 WQ-3 体系在 600 r/min 和 6 000 r/min 的剪切速率下连续剪切 20 s 后的黏度恢复曲线。从图 5 可以看出,在 600 r/min 的低剪切速率下,纳米微球 WQ-3 体系具有很好的剪切恢复性能,110 min 时表观黏度的保留

率达到 90.0%;在 6 000 r/min 的高剪切速率下,纳米微球 WQ-3 体系的剪切恢复性能较差,110 min 时保留率仅为 38.1%,远低于 600 r/min 的保留率,但是经过长时间恢复后(250 min),保留率也能达到 70% 左右,这说明合成的纳米微球 WQ-3 的内部网络结构保持稳定,在高剪切速率下,网络结构也没有被大量破坏,该纳米微球 WQ-3 体系的耐剪切能力较好。

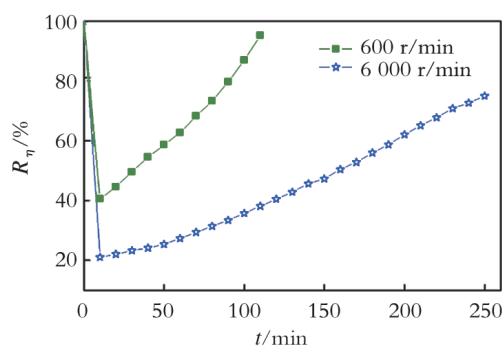


图 5 纳米微球体系剪切后的黏度恢复曲线

2.5 纳米微球的调驱性能

图 6 为非均质岩心的调驱效果。从图 6 可以看出,非均质岩心经过注入纳米微球 WQ-3 体系后,采收率有较大幅度增加,采收率增加值为 14.25%。从含水率和注入压力曲线可以看出,注入纳米微球 WQ-3 初期,岩心出口端的含水率下降明显,但是随着后续水驱的增加,岩心出口端的含水率逐渐增大,这说明在非均质岩心中,纳米微球 WQ-3 体系具有较好的注入性;在后续水驱阶段,注入压力呈小幅度波动,但是基本保持不变。因此,研制的纳米微球 WQ-3 体系在非均质岩心中有较好的调驱效果。

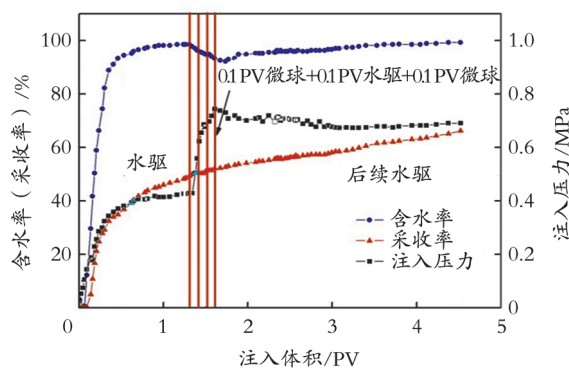


图 6 非均质岩心的调驱效果

3 结 论

(1) 利用反相悬浮乳液聚合法研制了一种平均粒径为 404.92 nm 的纳米微球 WQ-3,其 24 h 时吸水膨胀倍数为 34.96 g/g,具有很好的耐温、耐盐性能。

(2) 吸水膨胀后纳米微球 WQ-3 的弹性模量大

于黏性模量,表现出软固体的特性,可在孔喉中变形通过。调驱实验表明,非均质岩心经过注入纳米

微球体系后,最终采收率有较大幅度增加,采收率增加值为14.25%。

参 考 文 献

- [1] 郭太现,苏彦春.渤海油田稠油油藏开发现状和技术发展方向[J].中国海上油气,2013,25(4):26-30.
- [2] 杨开.稠油油藏有机碱二元复合驱油体系研究与应用[J].精细石油化工进展,2017,18(3):22-25.
- [3] 尚宝兵,李俊飞,吴华晓,等.海上高凝油油藏开发技术对策研究[J].复杂油气藏,2018,11(4):65-68.
- [4] 卢俊卿,王尤富,马银蔓.稠油油藏蒸汽吞吐转汽驱开发方式研究[J].当代化工,2016,45(11):2580-2582.
- [5] 周琦,姜汉桥,朱学谦,等.海上稠油油藏可动凝胶调驱参数优化—以SZ36-1油田为例[J].油气地质与采收率,2008,15(4):62-65.
- [6] 熊春明,唐孝芬.国内外堵水调剖技术最新进展及发展趋势[J].石油勘探与开发,2007,34(1):83-87.
- [7] 贾晓飞,雷光伦,贾晓宇.注水井深部调剖技术研究现状及发展趋势[J].特种油气藏,2009,16(4):6-8.
- [8] 师壮明,王春尧,潘俊良.深部调剖剂配方优选[J].当代化工,2018,47(4):831-835.
- [9] 武海燕,罗宪波.深部调剖剂研究新进展[J].特种油气藏,2005,12(3):1-6.
- [10] 曹广胜,李建晔,祝健,等.改善牛心坨油田调剖剂成胶效果除氧剂优选[J].辽宁石油化工大学学报,2017,37(4):39-43.
- [11] 金海龙.低毒性弱凝胶调驱提高采收率技术研究[D].成都:西南石油大学,2006.
- [12] 贾晓飞,雷光伦,李会荣,等.孔隙尺度聚合物弹性微球膨胀性能研究[J].石油钻探技术,2009,37(6):87-90.
- [13] 马海霞,林梅钦,李明远,等.交联聚合物微球体系性质研究[J].应用化工,2006,35(6):454-457.
- [14] 韩秀贞,李明远,林梅钦,等.交联聚合物微球体系水化性能分析[J].油田化学,2006,23(2):162-165.
- [15] 赵应方.耐温耐盐深部调驱剂的制备及注入参数优化研究[J].石油化工高等学校学报,2017,30(4):43-47.

(编辑 宋官龙)