

此研究空气流速的影响具有重要的现实意义。保持甲苯浓度 800 ppm 不变,考察不同空速条件下甲苯的催化氧化反应,结果如下图所示。

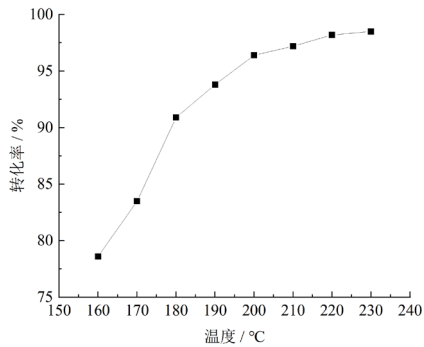


图3 温度对催化氧化反应的影响

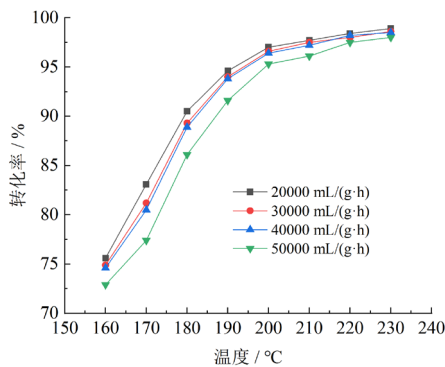


图4 空速对催化氧化反应的影响

从图4可以看出,甲苯的转化率随着空速的增加而降低,这是因为随着空速的增加,甲苯在催化剂表面的停留时间变短,部分甲苯还未发生反应就被吹扫出反应管,所以转化率降低。另一方面,气体流速增大,单位时间内进入反应器的甲苯增加,催化剂的负荷增大,导致转化率有所下降。

3.2.3 甲苯浓度对催化氧化反应的影响

甲苯浓度对催化氧化反应的影响如图5所示。

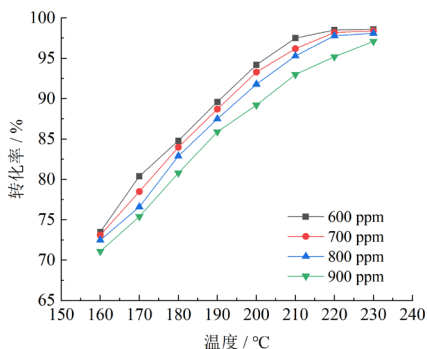


图5 甲苯浓度对催化氧化反应的影响

从图中可以看出,随甲苯浓度的增加,催化剂催化氧化甲苯的活性逐渐降低,这是因为随着甲苯浓度的增加,甲苯的分子数增加,单位催化剂处理甲苯分子的负荷量增

加,因此使得催化剂活性降低。

3.2.4 催化剂重复使用性能

重复使用性能是衡量催化剂性能的重要标准。本实验考察了反应温度为 220 °C,甲苯浓度为 800 ppm 时,催化剂催化氧化甲苯的重复使用性能,结果如图6所示。

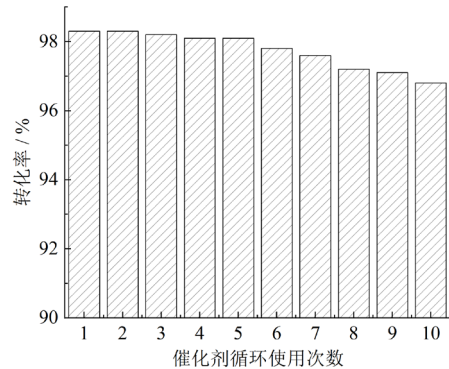


图6 催化剂循环使用性能测试

从图中可以看出,催化剂在重复使用 10 次后,甲苯的转化率仍维持在 95% 以上,由此可见,所制备的 Ru / O-V 催化剂在甲苯催化氧化反应中具有较好的催化活性和稳定性。

4 结语

蛭石经有机改性后层间距加大,有利于活性组分 Ru 的进入,且 Ru 在蛭石表面的分散较好,未发生聚集。

以 Ru / O-V 为催化剂,甲苯为模型 VOCs,在适宜的工艺条件下,甲苯可被降解为无害的 CO₂ 和 H₂O,转化率达到 98.2%。

在甲苯催化氧化反应中,有机改性蛭石负载钌催化剂 (Ru / O-V) 具有良好的催化活性和稳定性,催化剂回收再生后循环使用 10 次,甲苯的转化率仍在 95% 以上。

参考文献

- [1] 张金瑶,王祖武,余琬冰,等. 负载型钌催化剂的制备对甲苯催化燃烧的影响[J]. 环境科学与技术, 2020, 43 (2): 65-68.
- [2] 刘文杰,张义,孟杰等. 堇青石负载CuCo整体式催化剂的制备及其催化氧化甲苯性能[J]. 化工环保, 2024, 44 (5): 707-712.
- [3] H Tidahy, M Hosseni, S Siffert, et al. Nanostructured macroporous zirconia impregnated by noble metal for catalytic total oxidation of toluene[J]. Catalysis Today, 2008, 137: 335-339.
- [4] 杨琼琼. 多孔材料负载型催化剂催化氧化VOCs的研究进展[J]. 化工设计通讯, 2023, 49 (11): 70-77.
- [5] 王健. 负载型钌催化剂对VOCs的催化氧化研究[D].北京: 中国科学院大学, 2016.
- [6] D H Yang, S H Chen, L Wang, et al. Modified Vermiculite Supported Ru Nanoparticles as a Robust Catalyst for the Hydrogenation of Levulinic Acid to γ -Valerolactone [J]. Catalysis Letters, 2025, 155: 105-115.

Performance Evaluation of Hypersaline Reservoir Seepage-Driven Oil Recovery Agent A

Lianwei Du Yang Liu Xueru Chen Xiaowen Zhang

Western Drilling Oil Testing Company, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Karamay, Xinjiang, 834099, China

Abstract

A seepage-driven oil recovery agent A was formulated using a nano-emulsion and 0.2% surfactant. Through stability optimization and interfacial tension evaluation, we conducted experiments on oil washing efficiency, core seepage, core displacement, and sand-filling model displacement to investigate the seepage-driven oil recovery performance of Agent A in low-permeability cores. Results showed that the formulated Agent A exhibited strong stability and demonstrated effective seepage recovery in low-permeability cores, achieving 30.65% recovery under 80°C conditions. In sand-filling model displacement experiments, the recovery rate increased by 13.11% under residual oil conditions.

Keywords

parameter optimization; low permeability; oil displacement agent; oil recovery; core displacement

针对低渗储层渗吸驱油剂 A 的性能评价

杜联伟 刘杨 陈雪茹 张晓文

西部钻探试油公司, 中国·新疆 克拉玛依市 834099

摘要

选用纳米乳液与0.2%表面活性剂配比出一种渗吸驱油剂A, 通过对其进行稳定性优化、界面张力评价, 开展洗油效率、岩心渗吸、岩心驱替、填砂模型驱替实验, 研究渗吸驱油剂A在低渗透岩心中渗吸和驱油效果。结果显示, 配比的驱油剂A稳定性强, 对于低渗透岩心具有较好的渗吸采收效果, 80°C条件下渗吸采收效果可达30.65%; 填砂模型驱替实验中, 在残余油状态下, 提高采收率13.11%。

关键词

参数优化; 低渗; 驱油剂; 采收率; 岩心驱替

1 引言

新疆油田目前有注水开发油藏 151 个, 动用石油地质储量 9.6 亿 t。其中西北缘三叠系、二叠系低渗油藏注水开发油藏储量 5.56 亿 t。目前, 注水开发油藏整体采出程度 24%, 平均含水 82.9%, 油藏注水矛盾突出, 已开发的中高渗主力油藏整体进入双高阶段, 存水率小于平均值 (0.3) 的占比 42%。低渗透油藏二次采油开发技术提高采收率及效益动用面临注不进、驱不动、波及差等问题^[1-3], 因此目前急需一种解决方法。根据调研发现, 纳米材料由于其具有粒径小、表面活性高且稳定的特征, 目前在驱油方面具有优异的效果^[4]。面对低渗储层孔喉小的特征, 纳米材料小粒径刚好能够深入孔喉到达储层深处, 驱替更多剩余油^[5]。因此针对新疆油田低渗储层区块, 研究纳米渗吸驱油剂提高采收率, 具有一定的经济价值。

前人^[6]针对低渗储层提高采收率的实验中, 大部分采用纳米 SiO₂ 与阴离子表面活性剂复配合成纳米体系, 并在实际应用中采收率具有明显提升。本文采用前人合成方法, 选用 Al₂O₃ 纳米颗粒与表面活性剂, 配制成渗吸驱油剂, 并利用 CP7 井样品进行洗油、渗吸、驱替评价实验, 进一步验证渗吸驱油剂在新疆油田低渗储层中提高采收率的能力, 同时也为不同区域同类型低渗储层进一步高效开发提供重要的参考和依据。

2 CP7 井基本概况

实验样品均来自 CP7 井, 该井试油层是典型的新疆油田低渗储层, 了解该井基本情况, 为后期不同区域判断是否是相同低渗储层具有重要意义。

CP7 井位于准噶尔盆地西部隆起区车排子地区红车断裂带^[7]。构造上西由近南北走向一逆断层控制、地层近东倾斜并内部发育次级近东走向正断层的一单斜构造^[8]。CP7 井储集层主要为侏罗系八道湾组, 该组储集层总计 14 层, 厚 146.00m, 占组厚 36.68%, 单层最大厚度为 46.00m, 一

【作者简介】杜联伟 (1990-), 男, 中国山东东营人, 本科, 工程师, 从事石油地质研究。

一般为 2.00 ~ 8.00m。储集层岩性主要为泥质粉砂岩。砂粒成分以石英为主，长石、岩屑次之，粒径 0.01 ~ 0.25mm；砾石成分以火成岩块为主，变质岩块次之。其中油气显示段（2299.20 ~ 2308.70m）电阻率 10.70Ω·m，声波时差 82.40us/ft，密度 2.37g/cm³。试井分析结果显示，该储集层地层有效渗透率 K 为 3.73mD，裂缝导流能力为 1070mD.m，总体来看，侏罗系八道湾组储集层属于低渗储层。

对 CP7 井八道湾组低渗储层进行试油，试油期间进行油管压裂，压裂规模小（共用压裂液 221.00m³），低加砂比（含砂比 16.85%）。压裂后进行自喷退液，其中 5.0mm 油嘴试产期间获高产工业油流，日产油达 11.98m³。后期由于长期试采，含水率增加，导致产油量减少。试油期间表现高产工业油流潜力，若能提高原油采收率，将对油田完成油气增产目标具有重要意义。

3 实验部分

3.1 实验材料选择

3.1.1 实验试剂配制

渗吸驱油剂：选用纳米 Al₂O₃（分析纯）和不同浓度阴离子表面活性剂（十二烷基硫酸钠水溶液）（化学纯）进行配制。

模拟地层水：选用 1000mg/L 氯化钠（分析纯）、2000mg/L 氯化钙（分析纯）、2000mg/L 氯化镁（分析纯）、1000mg/L 硫酸钠（分析纯）、1000mg/L 碳酸氢钠（分析纯）和蒸馏水（GB/T6682 规定的三级水）进行配制，配制出矿化度 20000mg/L 的地层水。

实验用原油：选用 CP7 井原油，其密度为 0.83g/cm³，60℃下原油黏度为 66.4mPa·s；将原油与无水煤油（经无水氯化钙脱水处理后的煤油）按一定比例稀释，得到室温下（23℃）原油黏度为 50.1mPa·s 的实验用原油。

3.1.2 实验用人造岩心

实验用人造岩心物理参数见表 1。

表 1 岩心物理参数测定表

渗透率 mD	孔隙度 %	长度 cm	直径 mm
1.00	10.1	8.4	24.8

3.1.3 实验用填砂模型

实验用填砂模型物理参数见表 2。

表 2 填砂模型物理参数测定表

孔隙度 /%	孔隙体积 /cm ³	渗透率 /mD	长度 /cm	直径 /mm
34.1	6.7	0.92	10.0	15.8

3.1.4 实验仪器

旋转界面张力仪（SVT20N 型）；电热恒温烘箱（控温范围 0-300℃）；洗油瓶（总体积 100mL，上部刻度 10ml）；电子分析天平（精度为 0.1mg）；岩心饱和油装置；烧杯（250mL）；玻璃棒；渗吸瓶（总体积 100mL，上部刻

度 5ml）。

3.2 实验方法

3.2.1 渗吸驱油剂稳定性测定方法

在高温 80℃、高矿化度 20000mg/L 条件下，采用旋转界面张力仪测量不同浓度渗吸驱油剂下界面张力，得出纳米驱油剂改变界面张力的能力，并选出最佳浓度的渗吸驱油剂在 95℃高温、20000mg/L 高矿化度环境下观察 90d，对其张力稳定性和黏度稳定性进行评价分析。

3.2.2 洗油效率测定方法

实验主要利用洗油瓶进行洗油效率测定，洗油实验步骤如下：①选取 CP7 井地层砂与原油按照 7:1 的比例混合均匀，配制含油砂。②将混合后的含油砂放入恒温 70℃电热恒温烘箱中老化 72h。③在 100mL 刻度洗油瓶中，用天平称取老化后的含油砂，加入前文优选渗吸驱油剂至瓶口刻度线处，放入 80℃的电热恒温烘箱中，保温 5d，读取洗出油的体积量。④整理数据，计算洗油效率，计算如公式所示。

$$RS = \frac{D \times V}{m} \times 100\%$$

公式中：RS 为洗油效率，%；D 为原油密度，g/cm³；V 为洗出油体积，cm³；m 为初始原油质量，g。

3.2.3 驱油剂渗吸采收率测定方法

实验主要利用渗吸瓶法进行人造岩心渗吸采收率测定，渗吸实验步骤如下：①将人造岩心放入岩心饱和油装置夹持器中，加上环压（32MPa），出口端连接到真空泵，连续抽真空 24h。②将保持真空状态的夹持器进口端连接到饱和油设备上，温度设定为 40℃，以 0.01~0.03mL/min 的注入速度开始饱和油，饱和过程中将温度不断提升，直至 120℃，继续饱和 24h，计算饱和油量。③将饱和过原油的岩心放入渗吸瓶中，加入前文优选渗吸驱油剂，至渗吸瓶上部细管约 3mL 刻度处。④放入 80℃电热恒温烘箱中，读取不同时间的渗吸体积，计算得出渗吸采收率，至体积不再变化实验结束。⑥整理数据，计算最终渗吸采收率，计算如公式所示。

$$Eor1 = \frac{V_1}{V} \times 100\%$$

公式中：Eor₁ 为渗吸采收率，%；V₁ 为渗吸采出液体积，mL；V 为岩心饱和油量，mL。

3.2.4 渗吸驱油剂驱替效率测定方法

实验使用前文优选渗吸驱油剂，对填砂模型进行驱替实验，研究渗吸驱油剂在低渗透岩心中的提高原油采收效果。驱替实验步骤如下：①将填砂模型放入岩心饱和油装置夹持器中抽真空并饱和盐水。②通过饱和油装置饱和和原油，记录产出水量，计算含油饱和度和饱和油量。③以 0.01~0.03mL/min 的注入速度注盐水，直至不再产出原油，达到残余油状态，计算残余油油量。④以 0.01~0.03mL/min 的注入速度注渗吸驱油剂，记录出油量及压力变化。⑤继续以 0.01~0.03mL/min 的注入速度注盐水，记录出油量和压力变化。⑥整合数据，利用如下公式计算驱替采收率。