

HPAM南海海水溶液磁处理增粘条件优化及性能评价

张帮亮¹,龙禹霏²,龙志勤¹,邵洋¹,吴有昊¹,黄伟莉³

(1.广东石油化工学院石油工程学院,广东茂名525000; 2.中国石油大庆油田有限责任公司第八采油厂,黑龙江大庆163000; 3.广东石油化工学院化学工程学院,广东茂名525000)

摘要:利用表观粘度测量法,研究部分水解聚丙烯酰胺(HPAM)南海海水溶液磁处理后的增粘规律,并对增粘后的HPAM南海海水溶液进行抗剪切性能、抗氧降解性能、磁记忆性和模拟岩心驱油性能评价。结果表明:在磁处理温度为30℃、磁场强度为60 mT、磁处理时间为1.5 h和磁处理搅拌速度为800 r/min的条件下,质量浓度为2 000 mg/L的HPAM南海海水溶液的粘度由14.2 mPa·s增至18.1 mPa·s,增粘率达27.5%;磁处理增粘的HPAM南海海水溶液,在30℃下抗50~200目筛网的剪切性能和抗氧鼓泡降解性能明显优于同温度下未经磁处理的HPAM南海海水溶液,且磁记忆时间达9 d。在HPAM南海海水溶液驱油结束后,继续注入3.9 PV经磁处理增粘的HPAM南海海水溶液,注入压力提高了35 kPa,图像显示波及体积进一步扩大,采收率得到进一步提高。

关键词:部分水解聚丙烯酰胺 磁处理 南海海水 增粘 驱油

中图分类号:TE357.431

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2017)05-0093-06

Thickening condition optimization and performance evaluation of HPAM solutions formulated with seawater from the South China Sea by magnetic treatment

Zhang Bangliang¹, Long Yufei², Long Zhiqin¹, Shao Yang¹, Wu Youhao¹, Huang Weili³

(1.School of Petroleum Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming City, Guangdong Province, 525000, China; 2.No.8 Oil Production Plant, Daqing Oilfield Company, PetroChina, Daqing City, Heilongjiang Province, 163000, China; 3.College of Chemical Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming City, Guangdong Province, 525000, China)

Abstract: Thickening rules of HPAM seawater solutions from the South China Sea with magnetic treatment were studied by apparent viscosity measurement. Shear resistance, anti oxidative degradation, magnetic memory effects and flooding property of simulated core of viscosified HPAM seawater solutions were also investigated. The results show that the viscosity of HPAM seawater solution with mass concentration of 2 000 mg/L increased from 14.2 mPa·s to 18.1 mPa·s under the conditions of magnetization temperature of 30℃, magnetic intensity of 60 mT, magnetization time of 1.5 h and magnetization speed of 800 r/min, and the thickening rate reached to 27.5%. Shear resistance to 50–200 mesh and anti oxidative degradation of viscosified HPAM seawater solution with magnetic treatment at 30℃ were obviously superior to those of untreated HPAM seawater solution at the same temperature. The magnetic memory time of the viscosified solution could last for 9 d. After HPAM seawater solution flooding, 3.9 times the pore volume of simulated core of viscosified HPAM seawater solution with magnetic treatment were injected and the injection pressure was increased by 35 kPa. Therefore, the swept volume was improved and the oil efficiency was enhanced.

Key words: HPAM; magnetic treatment; seawater from the South China Sea; thickening; flooding

收稿日期:2017-05-16。

作者简介:张帮亮(1973—),男,陕西西乡人,讲师,硕士,从事油气储运教学及三次采油集输处理方面的研究工作。联系电话:(0668)2923086, E-mail:blzhang89@sohu.com。

基金项目:广东省大学生创新创业训练计划项目“基于南海油田快速开采—HPAM增粘新方法驱油研究”(201611656035),茂名市科技计划项目“磁化处理提高柴油稳定性的研究”(201610),广东石油化工学院大学生创新训练项目“磁化HPAM海水溶液驱油应用性能研究”(2015DCA050)。

部分水解聚丙烯酰胺因具有特殊的粘弹性而被用作油田水驱后的驱替剂以提高原油采收率。聚合物驱油技术已在大庆、胜利、河南和新疆等油区得到广泛应用^[1-4]。加拿大、美国、巴西和阿曼等国也进行了聚合物驱矿场先导实验,并取得了一定的增油效果^[5-7]。聚合物驱油不局限于陆上采油,中国早在2003年率先在渤海绥中油田开展了稠油疏水缔合聚合物驱油先导试验,拉开了海上油田聚合物驱实践的序幕,截至2015年底,绥中油田聚合物驱累积增油量达 $264.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[8]。但是,无论是以部分水解聚丙烯酰胺,还是以疏水缔合聚合物溶液为驱替剂的聚合物驱油技术,都尚未在石油储量丰富、被誉为“第2个波斯湾”之称的中国南海油气田进行先导试验与工业化应用^[9]。该应用关键的技术难题之一是,用高矿化度的海水配制的HPAM溶液的表观粘度低,若采用HPAM作为驱替剂,则用量大、驱油成本较高。吴文祥等研究发现,用人工盐水与聚合物33305配制成质量浓度为840 mg/L的溶液,经磁处理后粘度增加了8.93%^[10];耿宏章等研究发现,质量浓度分别为500, 1 000和1 500 mg/L的HPAM蒸馏水溶液,经流动磁化处理后,粘度均较未处理的有所上升,增粘率最高达29.8%^[11];孙仁远等研究发现,随磁化器峰数和磁场强度的增加,HPAM溶液的磁增粘效果变好,质量浓度为1 000 mg/L的HPAM溶液的最高增粘率达29.2%^[12]。但之后,中国鲜见磁处理增粘HPAM水溶液的相关研究,更无磁处理增粘海水配制的HPAM溶液的公开报导。为此,研究南海海水配制的HPAM溶液的磁处理增粘特性,并对其作为驱替剂的应用性能进行评价,以期对南海油气资源快速开发提供依据。

1 实验器材与方法

1.1 实验器材

实验仪器主要包括:美国布氏粘度计公司生产的Ultra LVDV-III型流变仪,宁波天恒仪器厂生产的THS-10型超级恒温槽,上海舜宇恒平科学仪器有限公司生产的FA2004型精度为0.1 mg的电子天平,北京卫星制造厂生产的2PB-1040平流泵,常州市澳华仪器有限公司生产的JJ-1A数显电动搅拌器。自行设计的HPAM溶液筛网剪切和氧气鼓泡降解装置;自行设计的磁处理实验装置(图1),基本参数包括:有效处理容积为220 mL,磁场强度为0~100 mT,磁处理温度为室温至90 ℃,磁处理搅拌速度为0~2 000 r/min;自行设计的由图2所示的宏观

可视化模拟岩心驱替实验装置,其核心部件模拟岩心,是在规格为250 mm×100 mm×5 mm单片磨砂玻璃上,沿长轴方向喷洒目数小于200目的石英砂混浊液后,再叠加另外一块相同的磨砂玻璃,封边同时留下液体进、出口制作而成,测得岩心孔隙体积为1.54 mL。

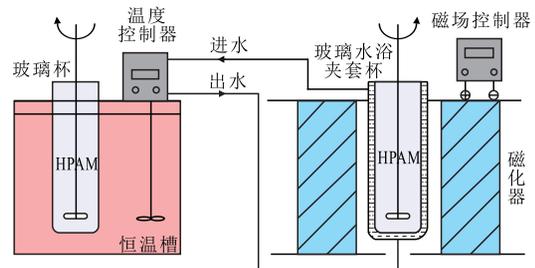


图1 磁处理实验装置

Fig.1 Diagram of experimental device for magnetization

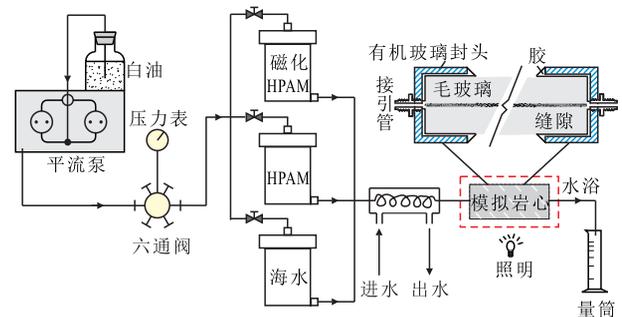


图2 宏观可视化模拟岩心驱替实验装置

Fig.2 Diagram of macroscopic visualized flooding device

实验试剂为巩义市亚泰净水滤料厂生产的、相对分子质量为 $1\ 200 \times 10^4$ 、水解度为12%、固含量大于等于88.2%的HPAM。

实验用水为取自茂名市水东湾的南海海水(以下简称海水),将取来的海水在室温下用孔径为0.22 μm的微孔滤膜过滤待用。

实验用HPAM海水母液的配制:室温下,量取过滤净化的海水800 mL于1 L玻璃烧杯中,安装玻璃搅拌桨,调整桨叶距离杯底1/3液面深处,开启电动搅拌器以1 000 r/min的速度进行搅拌,使水体中心形成漩涡;然后将称好的适量HPAM干粉缓慢撒入水体漩涡中,搅拌2 h,老化4 h,配制成质量浓度为5 000 mg/L的HPAM海水溶液待用。

实验用油为用高酸原油与灯用煤油按8:2的体积比配制的模拟地层油,30 ℃时其粘度为49.8 mPa·s。高酸原油由中国石化茂名分公司提供,酸值为1.82 mgKOH/g。灯用煤油由茂南烛光石化特种油脂厂提供,20 ℃密度为0.820 1 g/cm³,40 ℃运动粘度为1.95 mm²/s。

实验用气为茂名市民兴气体有限公司生产的、

纯度为99.999%的氧气和氮气。

实验材料主要包括:由上海新亚净化器件厂生产的、孔径为0.22 μm 、直径为50 mm的水润湿性微孔滤膜;幅面直径为50 mm,目数分别为50,100,200和400目的钢丝网。

1.2 实验方法

HPAM 海水溶液磁处理方法 磁处理实验步骤包括:①量取已恒温的HPAM母液80 mL于水浴夹套杯内,再加入相同温度的净化海水120 mL;②安装玻璃搅拌桨,开启搅拌器,控制转速到设定值;③开启磁处理实验装置(图1),按实验需求调整输入电流达到一定的磁场强度进行磁处理,得到质量浓度为2 000 mg/L的磁处理HPAM海水溶液。

HPAM 海水溶液表观粘度测定 具体实验步骤为:①开启Ultra LVDV-III流变仪,调整仪器零点,安装LV,转子于玻璃水浴夹套杯内;②开启水浴恒温槽外循环,待温度达到设定值且稳定5 min;③量取180 mL预先经过恒温的待测液于玻璃水浴夹套杯内,稳定2 min;④LV,转子以20 r/min的转速测定2 min,记录表观粘度稳定值。

HPAM 海水溶液抗剪切性能评价 具体实验步骤为:①在下封头分别固定有目数为50,100,200和400钢网的4个不锈钢圆桶过滤器内,倒入HPAM海水溶液200 mL,旋紧上封头并且连接好气路;②开启过滤器与氮气连接的稳压阀,充0.1 MPa氮气后开启过滤器出口阀,记录过滤出100 mL液体所需的时间;③对比磁处理与未磁处理的HPAM海水溶液的表现粘度,综合评价HPAM海水溶液的抗剪切性能。

HPAM 海水溶液抗氧鼓泡降解性能评价 具体实验步骤为:①取200 mL的HPAM海水溶液置于容积为500 mL的玻璃量筒内;②接入氧气管路,接通限压阀和质量流量计,调整通入氧气流速0~120 mL/min;③30 $^{\circ}\text{C}$ 下反应30 min后,对比磁处理与未磁处理的HPAM海水溶液的表现粘度,评价HPAM海水溶液的抗氧鼓泡降解性能。

HPAM 海水溶液磁记忆性评价 具体实验步骤为:①分别取500 mL磁处理和未磁处理的HPAM海水溶液盛装于2个容积为1 000 mL的广口玻璃瓶内;②30 $^{\circ}\text{C}$ 下恒温,定期取液测定表观粘度,记录二者粘度有明显差别的持续时间来评价磁处理HPAM海水溶液的磁记忆性。

HPAM 海水溶液驱油性能评价 具体实验步骤为:①按照图2安装驱替实验装置,将模拟岩心放入水浴中,连接好进出口;②开启水浴外循环,30 $^{\circ}\text{C}$

下恒温1 h;③以0.5 mL/min的流速向岩心中注入净化海水,待整个岩心被水润湿并变得透明后,注入模拟地层油,至2 min内不出现1滴水为止;④以0.1 mL/min的流速进行水驱,至2 min不出现1滴油且压力平稳为止;⑤按照步骤④先进行未磁处理HPAM海水溶液驱、再进行磁处理HPAM海水溶液驱实验,记录过程中的压力,并对可视化岩心进行录像。

2 磁处理增粘优化条件及性能评价

2.1 磁处理增粘优化条件

在磁处理温度为30 $^{\circ}\text{C}$ 的条件下,考察磁场强度、磁处理时间和磁处理搅拌速度对HPAM海水溶液表观粘度的影响,从而确定HPAM海水溶液的磁处理优化条件。

在磁处理时间为2.0 h、磁处理搅拌速度为600 r/min的条件下,HPAM海水溶液的表现粘度随磁场强度的增加而呈现先快速增加而后慢速最终略有降低的变化趋势。当磁场强度为60 mT时,HPAM海水溶液粘度为18.0 mPa·s,较未磁化时粘度(14.2 mPa·s)提高了26.8%;当磁场强度增至80 mT时,HPAM海水溶液粘度略有降低。结果表明,经60 mT磁场强度处理后,HPAM海水溶液已达到磁饱和。

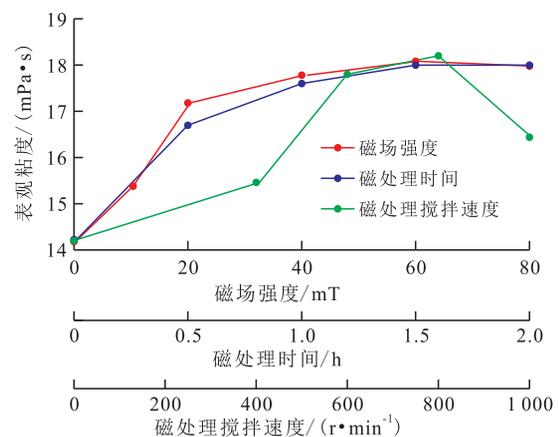


图3 HPAM海水溶液表观粘度与磁处理条件的关系
Fig.3 Relationship between apparent viscosity of HPAM seawater solution and magnetic treatment conditions

在磁场强度为60 mT、磁处理搅拌速度为600 r/min的条件下,HPAM海水溶液的表现粘度随处理时间的延长同样呈现先快速增加而后趋于稳定的趋势。当磁处理时间为1.5 h时,HPAM海水溶液表观粘度为18.0 mPa·s,当磁处理时间增至2.0 h时,HPAM海水溶液表观粘度变化不明显。这说明1.5 h的磁处理时间已使HPAM海水溶液接近磁饱和。

在磁处理时间为1.5 h、磁场强度为60 mT的条

件下,HPAM海水溶液的表现粘度随磁处理搅拌速度的增加呈现先升后降的趋势。当磁处理搅拌速度为800 r/min时,表现粘度达到峰值,为18.1 mPa·s,较未磁化时提高了27.5%;继续增大磁处理搅拌速度,溶液的粘度不升反降。这是因为,溶液切割磁力线运动速度的增大,使得蜷曲的HPAM分子变得伸展,导致溶液粘度增大;当磁处理搅拌速度过大时,剪切作用增强,拉断了部分HPAM分子,致使溶液粘度下降。

综合实验结果可知,质量浓度为2 000 mg/L的HPAM海水溶液磁处理增粘的优化条件为:磁场强度为60 mT、磁处理温度为30 ℃、磁处理时间为1.5 h、磁处理搅拌速度为800 r/min,经此条件磁处理的HPAM海水溶液粘度由14.2 mPa·s增至18.1 mPa·s,增粘率达27.5%。

2.2 性能评价

2.2.1 抗剪切性能

抗剪切性能实验结果(图4)表明:随着筛网目数增加,网眼直径不断减小,磁处理与未磁处理的HPAM海水溶液通过筛网的时间均大幅度延长,且经筛网剪切降解后的表现粘度均呈现先快后慢的下降趋势;在50~200目筛网的剪切下,磁处理的HPAM海水溶液的表现粘度下降相对较快,且其表现粘度始终大于未磁处理的HPAM海水溶液粘度,在200~400目筛网的剪切下,磁处理与未磁处理的表现粘度相近,说明磁处理的HPAM海水溶液通过50~200目筛网的时间更长、抗剪切性也更强。原因是:①经筛网过滤剪切后,由HPAM分子相互绞缠形成整体空间网络结构的溶液被分割成小的、数目不等的团聚体,溶液完整性变差,过滤后的磁处理和未磁处理的HPAM海水溶液的表现粘度大幅度下降。②磁处理的HPAM海水溶液中的单个HPAM分子更加舒展,整体分子间绞缠点多,分子间相对移动时的拖拽力大,表现为溶液起始粘度较未磁处理的高,其通过筛网的时间也相对更长一些。③即使经筛网剪切后,被分割成团聚体内部的HPAM分子排列结构未被大量破坏,磁处理HPAM海水溶液形成的团聚体内部溶液的粘度仍高于未磁处理的,经50~200目筛网剪切形成的团聚体尺寸相对较大,团聚体之间接触面积相对较大,相对移动时阻力变大,滤液表现粘度较高,磁处理的HPAM海水溶液抗50~200目筛网剪切性强。④经更高目数筛网剪切后,磁处理的HPAM海水溶液被切割成尺寸更小、为数众多的团聚体,相对移动时体现不出团聚体内部溶液粘度高的优势,使得在本实验条件下滤

液表现粘度与未磁处理的HPAM海水溶液粘度相近。

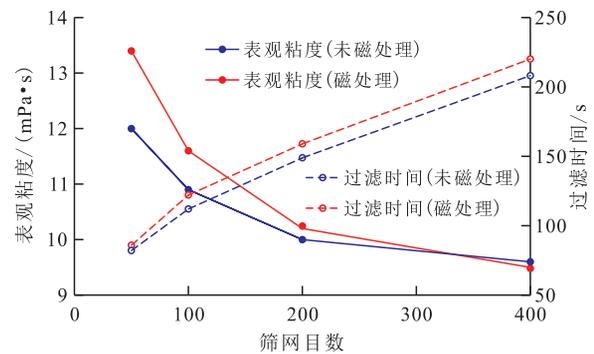


图4 磁处理对HPAM海水溶液表现粘度和过滤时间与筛网目数关系的影响

Fig.4 Effect of magnetization treatment on the relationship between apparent viscosity of HPAM seawater solutions, filtration time and number of the mesh

2.2.2 抗氧鼓泡降解性能

由抗氧鼓泡降解性能实验结果(图5)可以看出,随着通氧流速的增加,磁处理与未磁处理的HPAM海水溶液的表现粘度均呈现先快后慢的下降趋势,前者的表现粘度始终大于后者。主要原因是:通氧前,溶解在海水中的HPAM分子上的活泼自由基,与通入的氧结合,生成过氧化物并引发链增长反应,加速HPAM分子骨架断裂,导致HPAM海水溶液粘度下降。通氧降解初期,HPAM分子上的自由基数量较多,氧与自由基的反应速度较快,使得HPAM海水溶液粘度下降较快,该阶段HPAM海水溶液粘度下降的快慢主要由溶液中溶解氧的浓度控制。通氧降解中期,随着通氧流速的增加,溶液中的氧浓度接近饱和,此时溶解氧只有通过HPAM分子的水化层,克服负离子的阻隔,才能与HPAM分子骨架上剩余的活泼自由基接触反应,因此,该阶段HPAM分子降解快慢由氧的扩散速度控

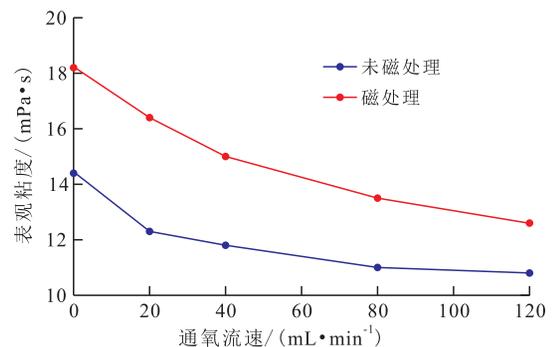


图5 磁处理对HPAM海水溶液表现粘度与通氧流速关系的影响

Fig.5 Effect of magnetization treatment on the relationship between apparent viscosity of HPAM seawater solution and flow rate of oxygen

制,呈现出HPAM溶液粘度下降速度较通氧初期减缓。本实验条件下,30 min的反应时间,HPAM溶液的降粘曲线主要反映的是通氧初期到中期的HPAM降解过程。可以预测,通氧后期,HPAM分子骨架上剩余的活泼自由基大量减少,HPAM分子反应降解量少,在无其他降粘因素影响下,溶液表观粘度趋向稳定。由于磁处理的HPAM海水溶液初始粘度较高,氧在溶液中的分散、运移速度较慢,与HPAM分子上活泼自由基的碰撞机会少,HPAM分子的降解反应速度慢,因此,磁处理的HPAM海水溶液粘度始终大于未磁处理的粘度,经磁处理的HPAM海水溶液的抗氧鼓泡降解性能优于未磁处理的。

海上油田聚合物驱工业化应用中,HPAM驱替液的配制是在海上平台有限的空间进行,要求配制速度快,海水与HPAM在小型配制罐中的停留时间相对地面上的短,而南海海水中的溶解氧仅约为2.72 mg/L^[13],海水与HPAM混配后进入密闭管道输送时,更无外界空气持续供应,氧降解HPAM分子有限,仅考虑单一氧降解因素,磁处理的HPAM海水溶液粘度保留率相对未磁处理的更高一些。

2.2.3 磁记忆性

磁记忆性实验结果(图6)表明:30℃下静置1 d后,磁处理与未磁处理的HPAM海水溶液的表观粘度均呈现较大幅度下降,二者在随后的12 d粘度降幅均相对变缓;在静置的前9 d内,磁处理的HPAM海水溶液的表观粘度明显高于未磁处理的,11 d后二者的表观粘度相近。说明磁处理的HPAM海水溶液的粘度稳定性好,磁记忆时间为9 d。原因是:①在30℃相对低温下,HPAM海水溶液中的溶解氧与HPAM分子上活泼自由基经过1 d较充分的反应,使HPAM海水溶液表观粘度大幅度下降。②HPAM海水溶液在13 d的静置过程中,空气中的氧

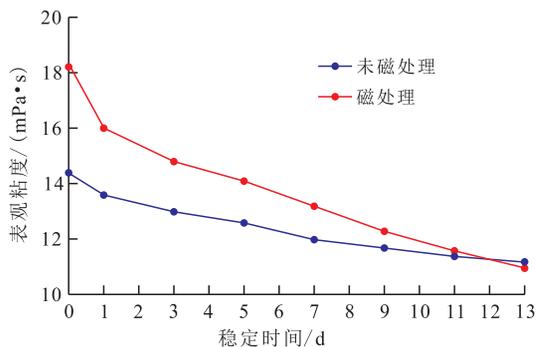


图6 磁处理对HPAM海水溶液表观粘度与稳定时间的关系的影响

Fig.6 Effect of magnetization treatment on the relationship between apparent viscosity and setting time of HPAM seawater solution

必须先通过气液界面再扩散到溶液中,延缓了与未降解的HPAM的反应,导致HPAM海水溶液表观粘度下降相对缓慢。③南海海水中存在可能起到催化降解反应的微量金属离子或微生物等对HPAM的综合降解作用,也使得HPAM海水溶液的表观粘度降低。④磁处理的HPAM海水溶液中,本身呈现空间网络结构的HPAM分子更加舒展且绞缠点多,撤除磁场后,纠缠着的HPAM分子形变恢复受阻,表现为表观粘度恢复时间较长、磁记忆性较好。

2.2.4 室内驱油性能评价

室内驱油性能实验结果(图7)表明:海水驱油过程中,注入压力先略微上升后趋于平稳,注入量达3.2 PV后,注入压力为7 kPa;改注未磁处理的HPAM海水溶液后,注入压力先大幅度快速上升,后趋于平稳,当HPAM海水溶液注入量达3.3 PV时,注入压力基本稳定在140 kPa;改注磁处理的HPAM海水溶液3.9 PV,注入压力上升至175 kPa,后趋于稳定直至实验结束。由磁处理对HPAM海水溶液驱油效果影响的对比照片(图8)可见,磁处理的HPAM海水溶液驱在HPAM海水溶液驱油的基础上,继续扩大了波及体积,驱替出更多的残余油,采

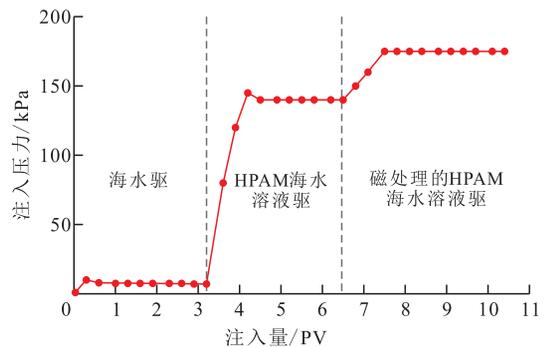
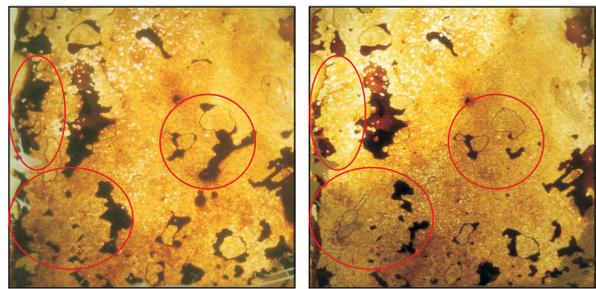


图7 磁处理对HPAM海水溶液注入压力与注入量关系的影响

Fig.7 Effect of magnetization treatment on the relationship between injection pressure and injection pore volume of HPAM seawater solution



a—HPAM海水溶液驱 b—磁处理的HPAM海水溶液驱

图8 磁处理对HPAM海水溶液驱油效果影响对比

Fig.8 Photographs showing contrast effects of flooding using untreated HPAM seawater solution and HPAM seawater solution viscosified by magnetic treatment

收率得到进一步的提高。

在聚合物驱的工业化应用中,聚合物溶液在油层孔隙中的运移速度缓慢,为1~5 m/d。以渤海S油田稀井网(反九点)大井距(350 m)^[14]开发为例,HPAM驱替液从注入井运移到采出井耗时超过70 d,磁记忆时间仅为9 d的磁处理HPAM海水溶液的实际驱油作用不大。HPAM海水溶液经磁处理增粘后,加入抗氧化剂和交联剂等继续稳定和提其粘度等方法还有待进一步研究。

3 结论

质量浓度为2 000 mg/L的HPAM海水溶液的磁处理增粘优化条件为:磁场强度为60 mT、磁处理温度为30 ℃、磁处理时间为1.5 h、磁处理搅拌速度为800 r/min,该条件处理的HPAM海水溶液的表现粘度由14.2 mPa·s增至18.1 mPa·s,增粘率达27.5%。

在流变仪转子转速为20 r/min的低剪切条件下,磁处理的HPAM海水溶液抗50,100和200目筛网的剪切性能明显优于未磁处理的,经400目筛网剪切后,二者的剪切性能相差不大。

磁处理的HPAM海水溶液30 ℃下的抗氧鼓泡降解性能明显优于未磁处理的,30 ℃下静置9 d后的表现粘度仍明显高于未磁处理的HPAM海水溶液,说明磁处理后磁记忆性较好。

在宏观可视化模拟岩心驱替过程中,磁处理的HPAM海水溶液的注入压力明显高于未磁处理的HPAM海水溶液,并在HPAM海水溶液驱油的基础上可进一步扩大波及体积,驱替出更多的残余油。

参考文献:

- [1] 高淑玲,张鹤川,闫伟,等.聚驱后井网加密高质量浓度聚合物驱提高采收率试验[J].大庆石油地质与开发,2016,35(3):94-98.
Gao Shuling, Zhang Hechuan, Yan Wei, et al. High-concentration polymer flooding field test with well infilling after polymer flooding [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2016, 35(3): 94-98.
- [2] 谢晓庆,冯国智,刘立伟,等.海上油田聚合物驱后提高采收率技术[J].油气地质与采收率,2015,22(1):93-97.
Xie Xiaoqing, Feng Guozhi, Liu Liwei, et al. Study on enhanced oil recovery technology after polymer flooding in offshore oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 93-97.
- [3] 方文超.陆上稠油油田多轮次聚合物驱提高采收率方法[J].断块油气田,2015,22(5):619-622,672.
Fang Wenchao. Enhancing oil recovery by multi-cycle polymer flooding for onshore heavy oilfields [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2015, 22(5): 619-622, 672.
- [4] 李宜强,陈建勋,金楚逸,等.砾岩油藏聚合物驱后二元和三元复合驱的优选[J].油气地质与采收率,2017,24(2):63-66.
Li Yiqiang, Chen Jianxun, Jin Chuyi, et al. Optimization of SP and ASP flooding after polymer flooding in conglomerate reservoir [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(2): 63-66.
- [5] Sheng J J, Leonhardt B, Azri N. Status of polymer-flooding technology [J]. Journal of Canadian Petroleum Technology, 2015, 54(2): 116-126.
- [6] Manrique E J, Muci V E, Gurfinkel M E. EOR field experiences in carbonate reservoirs in the United States [C]. SPE 100063, 2007.
- [7] Melo M A, Jr Lins A G, Silva I P G. Lessons learned from polymer flooding pilots in Brazil [C]. SPE 184941, 2017.
- [8] 邓景夫,吴晓慧,王刚,等.绥中油田各项措施增油效果劈分方法[J].油气地质与采收率,2017,24(2):107-110.
Deng Jingfu, Wu Xiaohui, Wang Gang, et al. Splitting method of incremental oil effect by composite measures in Suizhong oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(2): 107-110.
- [9] 薄玉宝.南海深水油气开发海洋工程方案选择策略探讨[J].中国造船,2015,56(2):179-184.
Bo Yubao. Discussion on selection strategy of deepwater offshore engineering proposals for oil and gas development in South China Sea [J]. Shipbuilding of China, 2015, 56(2): 179-184.
- [10] 吴文祥,侯吉瑞,韩成林,等.磁化作用对聚合物驱油效果的影响[J].油气采收率技术,1995,2(3):21-24.
Wu Wenxiang, Hou Jirui, Han Chenglin, et al. Influence of magnetization on the effectiveness of polymer flooding [J]. Oil & Gas Recovery Technology, 1995, 2(3): 21-24.
- [11] 耿宏章,周开学,秦积舜,等.磁处理对聚合物溶液粘度的影响[J].油田化学,2003,20(1):26-28,31.
Geng Hongzhang, Zhou Kaixue, Qin Jishun, et al. The influence of magnetic treatment on the viscosity of polymer solutions [J]. Oil-field Chemistry, 2003, 20(1): 26-28, 31.
- [12] 孙仁远,秦国鲲,梅永贵,等.聚合物溶液磁处理参数优化研究[J].西安石油大学学报:自然科学版,2005,20(1):47-49.
Sun Renyuan, Qin Guokun, Mei Yonggui, et al. Optimization of the magnetic treatment parameters of HPAM solutions [J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2005, 20(1): 47-49.
- [13] 刘洋,鲍献文,吴德星.南海溶解氧垂直结构的季节变化分析[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2011,41(1/2):25-32.
Liu Yang, Bao Xianwen, Wu Dexing. Analysis of vertical structure and seasonal variation of the dissolved oxygen in the South China sea [J]. Periodical of Ocean University of China: Natural Science Edition, 2011, 41(1/2): 25-32.
- [14] 王晓超,沈思,王锦林,等.渤海S油田聚合物驱剩余油分布规律研究[J].特种油气藏,2016,23(3):102-105.
Wang Xiaochao, Shen Si, Wang Jinlin, et al. Remaining oil distribution of polymer flooding in Bohai S oilfield [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(3): 102-105.