文章编号：1000-4092（2023）04-650-06

主客体包合超分子凝胶颗粒调剖剂的制备及性能评价*

郝继婷[1,2]，范海明[1,2]，康万利[1,2]，李哲[1,2,3]，杨红斌[1,2]，BAUYRZHAN Sarsenbekuly[1,2]

（1. 非常规油气开发教育部重点实验室，中国石油大学（华东），山东 青岛 266580；2. 中国石油大学（华东）石油工程学院，山东 青岛 266580；3. 炼焦煤资源绿色开发全国重点实验室，国家煤加工与洁净化工程技术研究中心，中国矿业大学，江苏 徐州 221116）

摘要：预交联凝胶颗粒（PPG）被广泛用于治理油藏水流优势窜流通道，起到稳油控水的效果。为了解决常规共价结构的PPG强度不足、剪切恢复性能差以及不耐盐的问题，以烯丙基-*β*-环糊精（烯丙基-*β*-CD、主体功能单体）、十六烷基二甲基烯丙基氯化铵（C16DMAAC、客体功能单体）、*N*，*N*'-亚甲基双丙烯酰胺（MBA、交联剂）和丙烯酰胺（AM）为主要原料，研制了一种具有剪切恢复性能的共价-非共价协同交联结构的主客体包合超分子凝胶颗粒（S-PPG）调剖剂。采用流变仪、激光粒度分析仪、光学显微镜系统探究了S-PPG的流变性能、膨胀性能和耐盐性能。结果表明，主客体单体的最佳加量为总单体物质的量的2.5%与2.5%的S-PPG在地层水中膨胀24 h后，质量分数为0.6%时的弹性模量为73 Pa，是常规PPG的3.04倍；屈服应力为120 Pa，剪切黏度损失率为39%，剪切恢复性能和屈服应力均为常规PPG的4倍左右；地层水中的膨胀倍数达23。此外，随着盐含量的增加，S-PPG的膨胀性能逐渐增强，在NaCl质量浓度为1×10^5 mg/L下的膨胀倍数达27.9，表现出优异的耐盐性能。本文研究为油藏深部调剖提供一种具有潜力的抗剪切S-PPG材料。

关键词：窜流通道；调剖；预交联凝胶颗粒；超分子凝胶；流变性能
文献标识码：A　　DOI：10.19346/j.cnki.1000-4092.2023.04.013
中图分类号：TE357　　开放科学（资源服务）标识码（OSID）：

0　前言

我国低渗油藏储量丰富，具有很大的勘探开发潜力[1-3]。针对低渗油藏储层物性差、渗透率极低、孔隙结构复杂以及含水饱和度高等问题，在开发初期采取了压裂等措施。然而，大量人工裂缝和天然裂缝的存在，增加了裂缝的不规律性和复杂性，注入水长期沿裂缝窜流，增加开采成本[4]。因此，调剖堵水是提高低渗裂缝性油藏原油采收率的必要措施。

现有的调剖用剂主要包括聚合物类、冻胶类、泡沫类、预交联凝胶颗粒类等[5-7]。聚合物类调剖剂在地面合成后注入地下，受地层环境影响较大，在低渗油藏中不易注入。冻胶类调剖剂的成胶时间不可控、易剪切降解和高温降解，当凝胶与油藏流体接触时，凝胶的组成会发生变化[8-9]。泡沫类调剖剂的耐油性差，泡沫液膜会与油滴相互作用，导致泡沫的结构被破坏[10]。预交联凝胶颗粒（PPG）具有成胶可控、储层不敏感、低渗层伤害小且膨胀后变形的优点，成为油田调剖储层的必要选择[11]。然而，传统的PPG通过共价键产生交联网络结构，颗粒通过孔喉时会产生不可逆的破碎现象，进入储层深部时封堵强度差且易被后续流体冲出[12-13]，严重

* 收稿日期：2022-11-13；修回日期：2022-12-09。
基金项目：国家自然科学基金青年项目“低渗裂缝油藏再黏接超分子凝胶颗粒研制及其封堵调控机理研究”（项目编号52204064）；国家自然科学基金重点项目“高效耐盐两亲聚合物超分子包合驱油体系增效方法及作用机理”（项目编号52130401）。
作者简介：郝继婷（1998—），女，中国石油大学（华东）油气田开发工程专业在读硕士研究生（2021—），研究方向为油气田开发工程，E-mail：2974140545@qq.com。范海明（1982—），男，博士生导师，教授，本文通讯联系人，北京大学化学与分子工程学院物理化学专业博士（2009），研究方向为油气田开发工程，通讯地址：266580 山东省青岛市黄岛区长江西路66号中国石油大学（华东），E-mail：haimingfan@126.com。

影响凝胶颗粒的封堵效果。

环糊精作为主体分子具有“外亲水内疏水”的特殊结构,而被环糊精空腔所包合的疏水单体称为客体分子,通过主体对客体的包合作用可形成超分子凝胶。超分子凝胶由于其特定的力学性能、刺激响应性以及自愈合性能等,近年来受到广泛关注。与传统的共价键高分子凝胶不同的是,超分子凝胶是通过非共价相互作用自组装形成具有各种结构的三维凝胶网络[14]。超分子凝胶材料具有来源广、成本低、环境响应性优异等优势,可以有效解决油气开采过程中遇到的复杂问题。超分子凝胶作为调剖堵水材料,可通过静电、多重氢键、疏水缔合、主客体包合等非共价作用自组装形成凝胶网络结构,进入地层后能够吸附在岩石多孔介质表面,增大附加流动阻力,封堵优势水流通道[15–16];并且在通过地层孔喉时受高速剪切作用不易破碎或破碎后可产生自黏接作用,进而保证其足够的封堵能力。

针对上述问题,本文以烯丙基-β-环糊精(烯丙基-β-CD、主体功能单体)、十六烷基二甲基烯丙基氯化铵(C_{16}DMAAC、客体功能单体)、N,N'-亚甲基双丙烯酰胺(MBA、交联剂)和丙烯酰胺(AM)为主要原料,通过自由基共聚反应研制了一种具有剪切恢复性能(不易破碎)的共价-非共价协同交联结构的主客体包合超分子凝胶颗粒(S-PPG)调剖剂。采用流变仪、激光粒度分析仪、光学显微镜系统探究了S-PPG的黏弹性能、膨胀性能、剪切恢复性能、屈服性能和耐盐性能。

1　实验部分

1.1　材料与仪器

丙烯酰胺(AM)、N, N'-亚甲基双丙烯酰胺(MBA),分析纯,天津希恩斯生化科技有限公司;过硫酸铵(APS),分析纯,国药集团化学试剂有限公司;烯丙基-β-环糊精单体(烯丙基-β-CD)、十六烷基二甲基烯丙基氯化铵单体(C_{16}DMAAC)、去离子水,实验室自制;实验用地层水为大港油田模拟地层水,矿化度为6726 mg/L,主要离子质量浓度(单位mg/L)为:K^++Na^+ 2043、Mg^{2+} 36、Ca^{2+} 39、Cl^- 1337、SO_4^{2-} 10、HCO_3^- 3126、CO_3^{2-} 135。

Physica MCR301型流变仪,奥地利安东帕公司;Bettersize(2000)型激光粒度分析仪,中国丹东Better-size仪器有限公司;Eurostar 40 digital型电动搅拌器,艾卡(广州)仪器有限公司;YLD-2000型烘箱,上海亚泰仪器有限公司。

1.2　实验方法

1.2.1　S-PPG的制备

S-PPG的合成反应式如图1所示。具体合成步骤如下:分别称取2.40 g AM、1.04 g(占总单体物质的量为2.5%)烯丙基-β-CD(制备方法参考文献[17])、0.31 g(占总单体物质的量为2.5%)C_{16}DMAAC,边搅拌边依次加入盛有蒸馏水的烧杯中,单体总含量为30%,搅拌至溶液变澄清;然后分别加入占单体总质量0.02%的MBA和适量的APS于上述溶液中,连续搅拌30 min后采用超声震荡10 min排除溶液中的氧气,制得均匀分散的混合溶液。将混合溶液转移至40 ℃下的恒温水浴锅中,反应2 h后取出。最后将得到的本体凝胶剪碎并置于60 ℃恒温干燥箱中干燥12 h后取出,用行星式球磨机在500 r/min下研磨4 h,制得平均粒径约为34.56 μm的目标超分子凝胶颗粒,定义为S-PPG(2.5+2.5)。

此外,分别改变单体烯丙基-β-CD、C_{16}DMAAC物质的量占总单体物质的量为3%、3%和2%、2%,单体AM物质的量相应改变为94%和96%,制备了的超分子凝胶颗粒,分别定义为S-PPG(3+3)和S-PPG(2+2)。

制备共价交联结构的凝胶颗粒作为对照组。具体地,先后称取3.75 g的AM和占单体总质量0.12%的MBA于盛有蒸馏水的烧杯中搅拌,最后加入适量APS,聚合条件和颗粒制备条件不变,得到目标常规凝胶颗粒PPG。

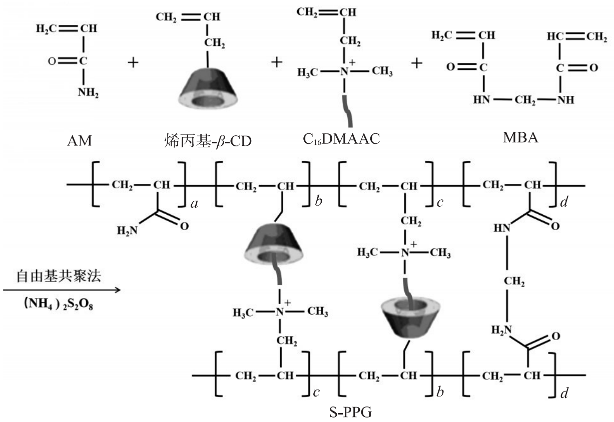

图1　S-PPG的合成反应式

1.2.2　膨胀性能测试

在50 ℃下,使用质量法通过记录PPG和S-PPG

质量随时间的变化来评价其膨胀性能。利用公式(1)计算颗粒的膨胀倍数(SR)。当颗粒的SR随时间的延长不再变化时,表明颗粒达到最大的吸水量,此时的SR为平衡膨胀倍数(ESR)[7]。

$$SR=\frac{V_t\rho}{W_0}\times 100\% \quad (1)$$

式中,V_t—特定时间凝胶颗粒膨胀后的体积,mL;ρ—水的密度,1 g/mL;W_0—干燥颗粒的初始重量,g。

1.2.3 流变性能测试

利用地层水配制质量分数为0.6%的凝胶颗粒悬浮液,在50 ℃下膨胀24 h后,使用Physica MCR 301流变仪的平板系统(CP50-1)分别测试S-PPG(2+2)、S-PPG(2.5+2.5)、S-PPG(3+3)以及PPG膨胀后的各体系的流变性能,实验温度均为50 ℃[18]。

(1)黏弹性能测试

在线性黏弹性区选定振幅为1%,振荡频率为0.5～10.0 Hz,对不同体系进行振荡频率扫描得到黏弹性变化曲线[19]。

(2)剪切恢复性能测试

设定转子与平板高度差为0.047 mm,测试时间为1200 s进行重复剪切。其中,一次剪切速率为0.1～1000 s^{-1},时间为600 s;二次剪切速率为1000～0.1 s^{-1},时间为600 s,测定不同剪切速率下凝胶颗粒悬浮液在重复剪切过程中的黏度变化情况[10]。剪切速率在10 s^{-1}下的黏度损失率按式(2)计算:

$$\beta=\frac{\eta_1-\eta_2}{\eta_1} \quad (2)$$

式中:β—黏度损失率,%;η_1—一次剪切黏度,Pa·s;η_2—二次剪切黏度,Pa·s。

(3)屈服性能测试

控制时间为180 s,振动频率为1 Hz,应力范围为0～500 Pa,测定凝胶颗粒的屈服性能。实验过程中,当平板测量转子与板之间的凝胶颗粒所承受的外加应力接近凝胶颗粒本身的屈服应力时,凝胶颗粒开始跟随转子转动,并产生一定的剪切速率,此时的临界外加应力即为凝胶颗粒的屈服应力。

2 结果与讨论

2.1 超分子凝胶颗粒S-PPG的黏弹性能

颗粒注入油藏后通过架桥封堵高渗通道,要求具有较高黏弹性。因此,黏弹性是凝胶颗粒的一个重要参数,它决定了凝胶颗粒的抗挤压性能以及堵水能力等[20]。凝胶颗粒黏弹性能的两个主要参数分别为储能模量(G')和损耗模量(G''),其中储能模量代表凝胶颗粒的弹性性能,而损耗模量代表凝胶颗粒的黏性性能。质量分数为0.6%的不同主客体物质的量下S-PPG体系的黏弹性能曲线如图2所示。S-PPG(2.5+2.5)凝胶颗粒体系的弹性模量为73 Pa,是常规PPG的3.04倍。不同主客体功能单体含量下的S-PPG的G'和G''均大于PPG的,表明S-PPG具有较强的黏弹特性,此外,S-PPG的弹性模量曲线的变化幅度小,表明其凝胶网络结构均匀,且弹性较大、韧性较强,在地层岩石孔隙介质中深部运移时强度较大,不易被破坏。这是由于主客体包合作用的存在,使得S-PPG网状结构的密集程度大于PPG网状结构的密集程度。在不同的振荡频率下G'均大于G'',表明S-PPG具有较好的弹性变形能力,主要因为共价-非共价协同交联的凝胶网络结构较传统共价交联的凝胶网络结构更强[19]。

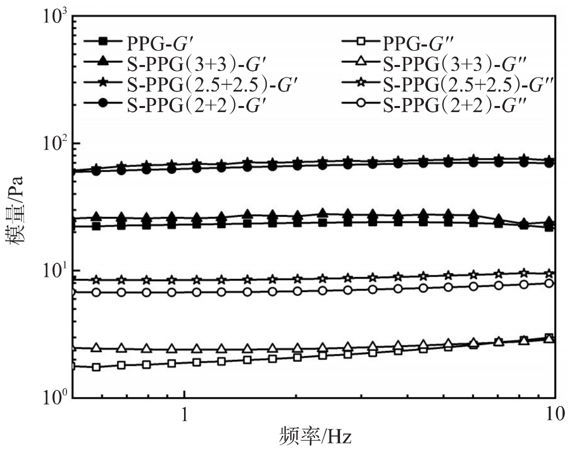

图2 不同主客体物质的量下S-PPG的黏弹性能

2.2 超分子凝胶颗粒S-PPG的膨胀性能

凝胶颗粒的膨胀性能是评价凝胶颗粒封堵性能的重要指标,颗粒通过变形可以运移进入深部地层,多个颗粒通过膨胀和堆积等物理堵塞实现对裂缝窜流通道的封堵,其中颗粒的膨胀倍数越大,对裂缝的封堵效率越高[21]。S-PPG的膨胀性能如图3所示。可以看出,PPG和S-PPG在前10 h内的膨胀倍数均呈线性增加趋势,10～30 h内膨胀速率逐渐变缓,并且在30 h后膨胀倍数保持不变。凝胶颗粒的主链或者侧链上含有羟基以及酰胺基等强亲水

基团的水合作用使得凝胶颗粒具有吸水膨胀性能[22]。此外,在地层水中PPG的平衡膨胀倍数(ESR)稳定在24左右,而含有不同主客体功能单体含量S-PPG的平衡膨胀倍数(ESR)均稳定在23左右,S-PPG的膨胀倍数与常规PPG的基本相同。这是因为在低矿化度下,主客体功能单体本身含量较少,且主体功能单体烯丙基-β-CD具有大量亲水基团,客体功能单体C_{16}DMAAC虽然含有疏水链,但也含强电离基团,因此,PPG与S-PPG的膨胀性能基本一致。

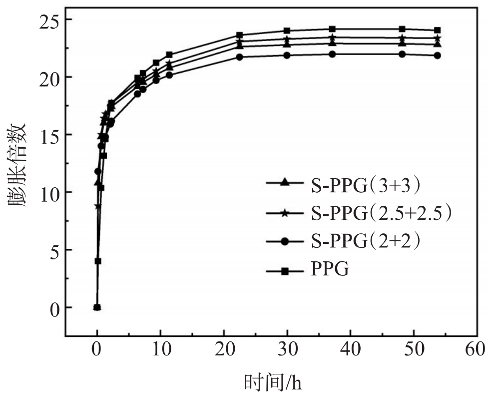

图3　不同主客体物质的量下的S-PPG膨胀倍数随时间变化

2.3　超分子凝胶颗粒S-PPG的剪切恢复性能和屈服性能

传统的凝胶颗粒在快速注入过程中受高应力剪切作用易产生不可逆破碎现象,从而影响其封堵效果。凝胶颗粒体系的剪切恢复性能如图4所示。当PPG体系经过一次和二次剪切过程后,在剪切速率10 s^{-1}下,PPG体系的黏度损失率为84%,S-PPG主客体物质的量分别为3%与3%、2.5 %与2.5%、2%与2%时,S-PPG体系的黏度损失率分别为74%、39%、49%。S-PPG体系的剪切恢复性能优于PPG,随着主客体含量的减小,黏度损失率先减小后增大,其中S-PPG(2.5+2.5)的剪切恢复性能最好。主要因为随着剪切速率的增大,凝胶颗粒中已形成的交联点被剪断,造成其脱水,常规PPG无法抵抗剪切带来的伤害,进而使黏度损失率增大;而S-PPG的凝胶网络中同时存在共价交联和主客体包合非共价交联结构,在经过高应力剪切后可以通过主客体包合作用可逆动态恢复,产生剪切自修复性能。随着主客体含量的增加,主客体包合作用增强,高应力剪切后恢复性能增强;而主客体含量过高时,由于大分子链中引入高相对分子质量的环糊精单体后,聚合反应的空间位阻增加,从而导致相对分子质量降低,体系黏度降低,黏度损失率升高,剪切恢复性能变差[24]。

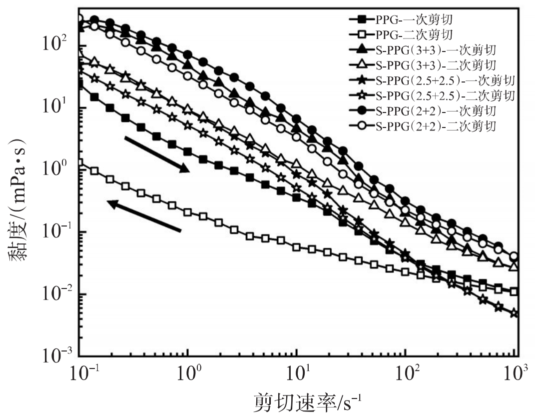

图4　不同主客体物质的量下的S-PPG剪切恢复性能

传统的凝胶颗粒经过长距离运移到达深部油藏后,由于强度低、剪切破碎易被后续流体冲刷开,严重影响封堵效果,因此,在凝胶颗粒进入油藏后必须确保足够的强度[8]。通常,屈服应力代表凝胶颗粒的强度,屈服应力值越大,表明凝胶颗粒的强度越大。不同主客体物质的量的S-PPG屈服应力曲线如图5所示。PPG的屈服应力为28 Pa,主客体物质的量为3% 与3%、2.5%与2.5%、2%与2%时,S-PPG的屈服应力分别对应为70、120、62 Pa。可以看出,当外加应力较小时,S-PPG和PPG的剪切速率变化不明显;当剪切应力接近凝胶颗粒本身的屈服应力时,凝胶颗粒随转子转动,S-PPG较PPG表现出更高的屈服应力值。随着主客体含量的减少,屈服应力先增大后减小。S-PPG主客体物质的量为2.5%与2.5%时的屈服应力最高,即此主客体物质的量下的S-PPG强度最大。这主要是因为主客体含量过低时,主客体包合作用较弱,流体力学半径减小,所形成的网状结构较为稀疏,稳定性较差;主客体含量过高时,由于环糊精本身相对分子质量较大,导致聚合反应的空间位阻增大,影响自由基聚合的分子链生长阶段,从而降低了高分子链的长度,影响S-PPG的强度[24]。

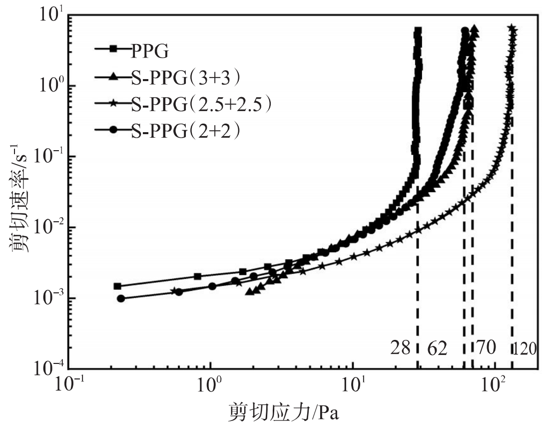

图5 不同主客体物质的量下的S-PPG屈服性能

2.4 盐含量对超分子凝胶颗粒S-PPG膨胀性能的影响

常规PPG的耐盐性能较差,在高盐环境条件下会发生硬化,导致颗粒膨胀性和变形性较差,无法对裂缝窜流通道进行有效封堵[23]。在50 ℃下,NaCl含量对S-PPG膨胀性能的影响如图6所示。可以看出,在不同盐含量下,S-PPG的吸水膨胀性均表现为3个阶段:初期颗粒吸水膨胀倍数呈指数形式增加,之后膨胀速率逐渐降低,直至最后达到平衡状态。此外,随着盐含量的增加,S-PPG的膨胀倍数有所提高,表现出优异的耐盐性能。这主要是因为主客体包合作用的存在提高了S-PPG的耐盐性,且S-PPG凝胶网络中的疏水链在盐溶液中具有更强的疏水缔合作用,各疏水链间相互吸引形成了新的空间网络结构,从而防止S-PPG分子链收缩。此外,随着盐含量的升高,S-PPG中环糊精主体与疏水链客体间的包合作用逐渐增强,使得凝胶结构中分子链间

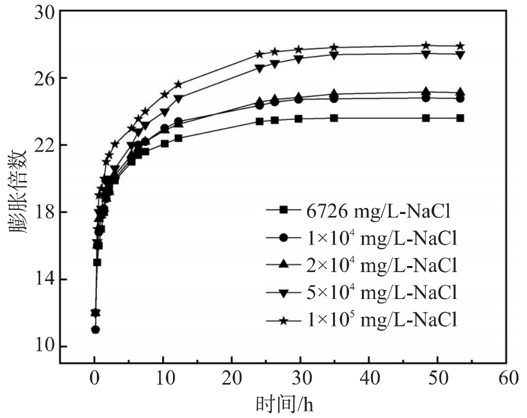

图6 不同盐含量下S-PPG(2.5+2.5)的膨胀倍数随测试时间的变化

的包合强度大于分子链的蜷曲强度。因此,随着盐含量的增加,常规PPG的膨胀倍数降低,而本文所制备的S-PPG的膨胀倍数反而增大[25],表明超分子凝胶颗粒可以克服常规PPG仅含丙烯酰胺或丙烯酸亲水基团而导致抗盐性能较差的问题。

3 结论

针对常规PPG受高应力剪切易产生不可逆破碎、裂缝封堵效果差的问题,以主体功能单体烯丙基-β-CD、客体功能单体C_{16}DMAAC、交联剂MBA和丙烯酰胺AM为主要原料制备了平均粒径为34.56 μm的S-PPG,其中主客体单体的最佳加量为总单体物质的量的2.5%与2.5%。

S-PPG中同时存在共价交联和主客体包合非共价交联结构,提高了S-PPG的黏弹、强度以及剪切破碎可恢复性能。质量分数为0.6%的S-PPG体系的弹性模量为73 Pa,是常规PPG的3.04倍;S-PPG的膨胀倍数在23左右,与常规PPG基本相同。此外,S-PPG的剪切恢复性能以及屈服性能均为常规PPG的4倍。

基于主体分子与客体分子选择性结合的特殊结构,S-PPG较传统PPG具有更加优异的耐盐性能。随着盐含量的增加,S-PPG的膨胀性能逐渐增强,在盐含量为1×10^5 mg/L时,S-PPG的膨胀倍数达到28。

参考文献:

[1] 王光付,廖荣凤,李江龙,等.中国石化低渗透油藏开发状况及前[J].油气地质与采收率,2007,14(3):217-223.
[2] WANG J L, FENG L Y, STEVE M, et al. China's unconventional oil: A review of its resources and outlook for long-term production[J]. Energy, 2015, 82: 31-42.
[3] 张抗,张立勤.21世纪初中国原油储量、产量构成变化分析及启示[J].中国石油勘探,2019,24(3):280-296.
[4] 杜金虎,杨涛,李欣.中国石油"十二五"油气勘探发现与"十三五"展望[J].中国石油勘探,2016,21(2):1-15.
[5] KANG W L, SHAO S, YANG H B, et al. The effect of stepwise increasing of water injection rates on enhanced oil recovery after preformed particle gel treatment[J]. J Pet Sci Eng, 2019, 182: 106239.
[6] ZHU D Y, XU Z H, SUN R X, et al. Laboratory evaluation on temporary plugging performance of degradable preformed particle gels (DPPGs)[J]. Fuel, 2021, 289: 119743.
[7] YU B W, ZHAO S D, LONG Y F, et al. Comprehensive evaluation of a high-temperature resistant re-crosslinkable preformed particle gel for water management[J]. Fuel, 2022, 309: 122086.

[8] 何宏，王业飞，王国瑞，等. 高温高盐油藏用调驱体系的研究进展[J]. 油田化学，2012，29(3)：375–379.

[9] CHU H Y，LIAO X W，DONG P，et al. An automatic classification method of well testing pilot based on convolutional neural network (CNN)[J]. Energies，2019，12(15)：2846.

[10] KANG W L，WANG J Q，YE Z Q，et al. Study on preparation and plugging effect of sawdust gel particle in fractured reservoir [J]. J Pet Sci Eng，2022，212：110358.

[11] ZHAO Y，BAI B J. Experimental study of transport behavior of swellable microgel particles in superpermeable channels for conformance control[J]. SPE J，2022，27(1)：790–805.

[12] WANG L Z，LONG Y F，BAI B J. Low temperature applicable polyelectrolyte gelator to covalently bridged partially hydrolyzed poly(acrylamide) in situ gel for fossil energy recovery[J]. Chem Eng J，2018，334：2558–2567.

[13] TARGAC G，GALLO C，SMITH D，et al. Case history of conformance solutions for west sak wormhole/void space conduit with a new reassembling pre-formed particle gel RPPG[C]// SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Virtual，October 26–29，2020.

[14] 王秀凤，张莉，刘鸣华. 超分子凝胶：结构多样性与超分子手性[J]. 物理化学学报，2016，32(1)：227–238.

[15] 孙金声，杨景斌，白英睿，等. 超分子凝胶形成机理及其在油气钻采工程领域应用现状和前景[J]. 石油学报，2022，43(9)：1334–1350.

[16] KAKUTA T，TAKASHIMA Y，HARADA A. Highly elastic asupramolecular hydrogels using host-guest inclusion complexes with cyclodextrins [J]. Macromolecules，2013，46 (11)：4575–4579.

[17] 季文，黄英，岳震南，等. 6-*O*-烯丙基-*β*-环糊精的合成与结构表征[J]. 中国胶黏剂，2010，19(12)：10–13.

[18] 马丽萍，刘笑春，杨棠英，等. 耐酸纳米微球的研发及CO_2驱封窜性能研究[J]. 日用化学工业，2022，52(2)：109–115 .

[19] 林梅钦，魏娴娴，董朝霞，等. 淀粉接枝聚丙烯酰胺凝胶的流变性能[J]. 石油学报(石油加工)，2020，36(4)：801–811.

[20] ZHOU B B，KANG W L，YANG H B，et al. Preparation and properties of an acid-resistant preformed particle gel for conformance control[J]. J Pet Sci Eng，2020，197(4)：107964.

[21] 白宝君，周佳，印鸣飞. 聚丙烯酰胺类聚合物凝胶改善水驱波及技术现状及展望[J]. 石油勘探与开发，2015，42(4)：481–487.

[22] 杨红斌. 低弹性聚合物微球的调剖作用机理研究[D]. 北京：中国石油大学(北京)，2016.

[23] 刘向斌. 油田用耐温耐盐及智能调剖凝胶的制备与性能研究[D]. 大庆：东北石油大学，2021.

[24] 康万利，张敏，张弘文，等. 两亲聚合物设计合成及其增效体系研究(Ⅳ)：主客体包合作用[J]. 日用化学工业，2020，50(4)：220–226.

[25] WANG J Q，KANG W L，YANG H B，et al. Study on salt tolerance mechanism of hydrophobic polymer microspheres for high salinity reservoir[J]. J Mol Liq，2022，368：120639.

Preparation and Property Evaluation of Host-guest Inclusion Supramolecular Gel Particles Profile Pontrol Agent

HAO Jiting[1,2], FAN Haiming[1,2], KANG Wanli[1,2], LI Zhe[1,2,3], YANG Hongbin[1,2], BAUYRZHAN Sarsenbekuly[1,2]

(1. Key Laboratory of Unconventional Oil & Gas Development, Ministry of Education, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, P R of China; 2. School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, P R of China; 3. National Key Laboratory for Green Development of Coking Coal Resources, National Engineering Research Center of Coal Preparation and Purification, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, P R of China)

Abstract: Preformed particle gels (PPG) are widely used to control the dominant channeling channel of reservoir to stabilize oil production and control water production. In order to solve the problems of inadequate strength, poor shear recovery performance and salt intolerance of conventional PPG with covalent structure, a host-guest inclusion supramolecular particle gels (S-PPG) profile control agent containing covalent and non-covalent crosslinked structure was developed, which had shear recovery performance. S-PPG was prepared using allyl-*β*-cyclodextrin (allyl-*β*-CD, host functional monomer), cetyldimethylallyl ammonium chloride (C16DMAAC, guest functional monomer) and *N*, *N*-methylene diacrylamide (MBA, crosslinking agent) and acrylamide (AM) as main raw materials. The rheological properties, swelling properties and salt tolerance of S-PPG was systematically investigated by measurements of rheometer, laser particle size analyzer and optical microscope. The results showed that the elastic modulus of S-PPG(2.5+2.5) system with mass fraction of 0.6% prepared with the formation water was 73 Pa after swelling for 24 h, which was 3.04 times of conventional PPG. The yield stress was 120 Pa, the shear viscosity loss rate was only 39%, the shear resistance and yield stress were about 4 times of the conventional PPG, and the swelling ratio in formation water was 23. In addition, the swelling property of S-PPG was gradually increased with the increase of salt content, and the swelling ratio could reach 27.9 at 1×10^5 mg/L NaCl concentration, showing excellent salt tolerance. It provides a potential new shear resistant S-PPG material for reservoir in-depth conformance control.

Keywords: *channeling channel*; *conformance control*; *preformed particle gels (PPG)*; *supramolecular gel*; *rheological property*