

钻井液用聚合物弱凝胶的研制与性能研究

陶梅¹, 罗桂玲², 罗霄^{3*}, 任晗³, 罗跃³

(1. 新疆克拉玛依恒祥科技有限公司, 新疆 克拉玛依 834000;

2. 新疆油田公司物资供应总公司, 新疆 乌鲁木齐 830001;

3. 长江大学化学与环境工程学院, 湖北 荆州 434000)

摘要:以自制的六烯基单体 TDED 为交联单体、NaHCO₃ 和 K₂S₂O₈ 为引发剂, 与丙烯酰胺 (AM)、2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸 (AMPS) 和三乙基烯丙基氯化铵 (TEAC) 进行自由基水溶液聚合, 合成了自交联聚合物弱凝胶 PTAPT。FT-IR 分析结果表明, 其分子结构符合预期, 并对其浓度-黏度关系、剪切稀释性和抗温性能进行了测定, 实验结果表明, 当 PTAPT 质量浓度为 5 000 mg/L 时, 在复合盐水中的黏度为淡水中黏度的 43.7%, 在剪切速率为 500 s⁻¹ 下剪切 5 min 后的保留率约为 86.5%, 经 180℃ 老化 72 h 后, 淡水和复合盐水中的黏度保留率分别为 28.8% 和 31.7%。基浆性能测定表明, 质量分数为 2.0% 的 PTAPT 可使老化前后的淡水与复合盐水基浆的黏度大幅上升, 老化后淡水基浆的 FL_{API} 为 7.8 mL, 复合盐水基浆的 FL_{API} 为 12.8 mL。

关键词: 聚合物弱凝胶; 钻井液; 合成; 抗温耐盐; 降滤失

中图分类号: TE254

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2018)09-0132-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2018.09.030

Preparation and properties of polymer weak gels for drilling fluids

TAO Mei¹, LUO Gui-ling², LUO Xiao^{3*}, REN Han³, LUO Yue³

(1. Xinjiang Karamay Hengxiang Technology Co., Ltd., Karamay 834000, China;

2. Material Supply Co., CNPC Xinjiang Oilfield Company, Urumqi 830001, China;

3. College of Chemistry & Environmental Engineering, Yangtze University, Jingzhou 434000, China)

Abstract: A self-crosslinking polymer weak gel PTAPT for drilling fluid is synthesized by free radical polymerization in aqueous solution with self-made 6-vinyl monomer TDED as crosslinking monomer, acrylamide (AM), 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid (AMPS) and triethylallyl ammonium chloride (TEAC) as other monomers, NaHCO₃ and K₂S₂O₈ as initiators. The results from FTIR analysis show that the molecular structure of PTAPT is in line with expectation. The relationships between concentration and viscosity, shear dilution and temperature resistance are determined. The experimental results show that the viscosity in compound brine is 43.7% of that in freshwater and the retention rate after shearing for 5 min at 500 s⁻¹ shear rate is about 86.5% when PTAPT concentration is 5 000 mg·L⁻¹. After 72 h of aging at 180℃, the viscosity retention rates in freshwater and composite brine are 28.8% and 31.7%, respectively. The determination of base pulp shows that the viscosity of fresh water and composite brine base pulp before and after aging can be increased greatly by 2.0% PTAPT. The FL_{API} of fresh water and compound brine base pulps after aging is 7.8 mL and 12.8 mL, respectively.

Key words: polymer weak gel; drilling fluid; synthesis; resistance to salt and heat; controlling fluid loss in filtrate

聚合物弱凝胶钻井液体系具有对不同漏失性地层适应性强、可提高井壁稳定性和黏土相质量分数低等优点。目前应用最广的弱凝胶聚合物多为聚丙烯酰胺或聚多糖类, 通过铝、铬等高价金属离子的络合作用所形成的交联体系或与甲醛、苯酚等发生化学交联而制得, 其中铝交联剂在高温和碱性环境中易发生沉淀析出, 而铬、甲醛与苯酚均存在严重的环境危害性, 无法满足日益严苛的现场施工要求^[1-4]。

选用既具有聚合能力又可作为交联剂的单体,

并与其他单体聚合形成自交联体系, 不仅能满足现场低毒、低伤害的工艺要求, 同时若交联作用基于稳定的化学键连接时, 更可增强交联体系在高温、高矿化度环境中的结构稳定性。如向聚合物分子结构中引入刚性大侧基与环状结构, 则可进一步增强其链刚性与机械、化学稳定性, 进而赋予弱凝胶聚合物更优的耐温与抗盐钙性能^[5-9]。

笔者以自制的含 6 个不饱和碳碳双键的单体 TDED 为自交联单体, 与常用的双烯类交联剂相比,

收稿日期: 2018-01-09; 修回日期: 2018-07-05

作者简介: 陶梅 (1972-), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为油田应用化学, 390408304@qq.com; 罗霄 (1985-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为油气井工作液及应用, 通讯联系人, cdlx19850711@163.com。

其具有难自聚、交联点多等优势^[10-12],可在聚合物整体交联度适中的前提下,提高交联点附近的交联密度,通过与丙烯酰胺(AM)、2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(AMPS)和三乙基烯丙基氯化铵(TEAC)进行共聚反应,制得了弱凝胶聚合物,并对其进行了性能评价。

1 实验部分

1.1 药品及仪器

无水乙醇、碳酸氢钠、过硫酸铵、NaOH、NaCl、CaCl₂、MgCl₂,均为工业纯,成都科龙试剂化工厂生产;AM、AMPS、TEAC,均为分析纯,萨恩化学技术(上海)有限公司生产;六烯基单体 TDED,分析纯,自制。

DF-101S 型磁力搅拌器,上海东玺制冷仪器公司生产;高温滚动加热炉,青岛同春石油仪器有限公司生产;ZNS-2A 型中压滤失仪,郑州南北仪器设备有限公司生产;DFC-0705 型高温高压滤失仪,北京路业通达公司生产;变频高速搅拌机,青岛鑫睿德石油仪器有限公司生产;ZNN-D6S 型旋转黏度计,青岛森欣机电设备有限公司生产;Brookfield DV-III 型流变仪,美国 Brookfield 公司生产;RS 6000 型流变仪,德国 HAAKE 公司生产。

1.2 合成方法

将 TDED、AM、AMPS 和 TEAC 按一定比例溶于去离子水中,用 20% 的 NaOH 溶液将体系 pH 调整为 7,倒入带回流装置的三口烧瓶中,通氮气保护并开启搅拌,缓慢升温至预定反应温度后滴加溶有定量 NaHCO₃ 和 K₂S₂O₈ 的去离子水,反应至规定时间后取出获得的乳白色凝胶状产物,用无水乙醇洗涤数次,烘干、粉碎后得白色粉末,即为聚合物成膜剂。合成路线如图 1 所示。

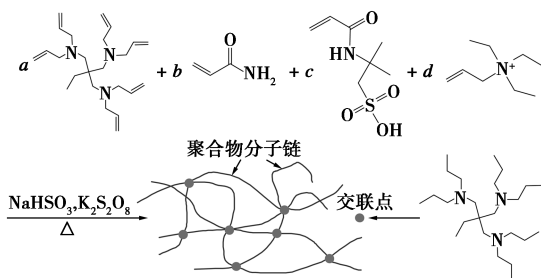


图 1 聚合物成膜剂的合成路线

1.3 结构表征

取适量样品在红外灯下与 KBr 研磨混合均匀,压片制样,利用傅里叶红外分光光度计对样品进行

红外分析。

1.4 聚合物性能测试

1.4.1 黏度-浓度关系测试

分别用去离子水和复合盐水(其盐的质量分数为:NaCl:5.0%、CaCl₂:2.0%、MgCl₂:1.0%)配制不同质量浓度的溶液,利用 Brookfield DV-III 流变仪测定所配制溶液在 25℃ 下的表观黏度,剪切速率为 7.34 s⁻¹。

1.4.2 抗剪切性能测试

利用 RS 6000 型流变仪测定质量浓度为 5 000 mg/L 共聚物溶液的表观黏度。首先测定共聚物溶液在 25℃、剪切速率为 170 s⁻¹ 下的黏度;然后增大剪切速率至 500 s⁻¹,测定此时共聚物溶液的黏度;最后将剪切速率降至 170 s⁻¹,再次测定共聚物溶液的黏度。

1.4.3 抗温性能测试

按照 1.4.1 中所述的方法配制质量浓度为 5 000 mg/L 的淡水与复合盐水溶液,倒入老化罐中,在 180℃ 下分别滚动 16、24、36、48 h 和 72 h,取出后按照 1.4.1 中所述的步骤测定其表观黏度。

1.5 基浆制备与性能测试

1.5.1 淡水基浆的制备

25℃ 下,在每 1 000 mL 淡水中加入 20 g 膨润土,在搅拌条件下加入 1.2 g 无水碳酸钠调节 pH 至合适范围,取 400 mL 基浆高速搅拌 20 min,随后密闭养护 24 h,即得淡水基浆。

1.5.2 复合盐水基浆的制备

25℃ 下,在每 1 000 mL 淡水中加入 20 g 膨润土,在搅拌条件下加入 1.2 g 无水碳酸钠调节 pH 至合适范围,继而投入 50 g NaCl、20 g CaCl₂ 和 10 g MgCl₂,待充分溶解后取 400 mL 基浆,高速搅拌 20 min 并密闭养护 24 h,即得复合盐水基浆。

1.5.3 基浆性能测定

分别向淡水与复合盐水基浆中加入不同量的聚合物成膜剂,利用 ZNS-2A 型中压滤失仪测定基浆的 FL_{API} 。利用 ZNN-D₆S 型旋转黏度计测定基浆在 600 r/min 和 300 r/min 下的黏度值,分别记为 Φ_{600} 和 Φ_{300} ,按照文献[13]中所述方法计算基浆流变性能参数。

2 结果与讨论

2.1 红外光谱分析

PTAPT 的红外光谱图如图 2 所示。

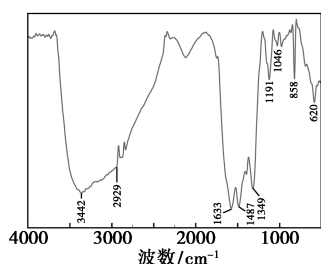
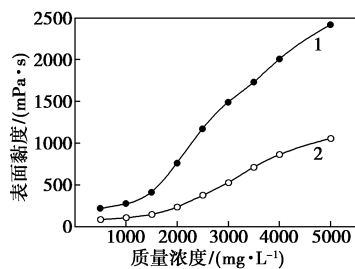


图 2 PTAPT 的 FT-IR 图谱

由图 2 可以看出,3 442 cm^{-1} 处为 AM 中的 N—H 伸缩振动吸收峰;2 929 cm^{-1} 处为共聚物分子主链中— CH_2 —的伸缩振动峰;1 633 cm^{-1} 处为 AM 及 AMPS 中的 C=O 键伸缩振动吸收峰;1 487 cm^{-1} 处为 TDED 与 AM 中的 C—N 伸缩振动峰;1 349 cm^{-1} 处为 AM 中 N— CH_3 的特征吸收峰;1 191 cm^{-1} 与 1 046 cm^{-1} 处为 AMPS 中磺酸基团的对称振动峰;858 cm^{-1} 处为 TEAC 中季铵基团的面外弯曲振动峰;620 cm^{-1} 处为 AMPS 中 C—S 键的伸缩振动峰。综上所述,合成产物中有酰胺基、磺酸基、胺基、长链烷基等基团,表明产物分子结构与预期相符。

2.2 黏度-质量浓度关系测试

利用 Brookfield DV-III 型流变仪测定不同质量浓度的淡水溶液和复合盐水溶液的表面黏度,其黏度-质量浓度关系如图 3 所示。



1—淡水;2—复合盐水

图 3 溶液的黏度-质量浓度关系

由图 3 可以看出,2 种水溶液的表面黏度均随质量浓度的增大而上升,当其质量浓度大于 2 000 mg/L 后,淡水与复合盐水溶液的表面黏度均显著增大,表明体型大分子相互缠结,开始形成遍布整个空间的网架体系—即弱凝胶,有效增加了溶液黏度。当 PTATP 质量浓度为 5 000 mg/L 时,淡水溶液的表面黏度达 2 417.3 $\text{mPa}\cdot\text{s}$,而复合盐水溶液的黏度为 1 056.2 $\text{mPa}\cdot\text{s}$,为淡水中黏度的 43.7%,表明共聚物分子链刚性较强,且其分子链中同时含有磺酸基团与季铵基团,所形成的“内盐键”效应有利于链段在高矿化度环境中维持舒展状态,故所形成

的三维网状结构不易被破坏,可维持较高的表观黏度^[14-17]。

2.3 剪切稀释性能测定

为满足钻井施工需求,水溶液应具有良好的剪切稀释性。利用 RS 6000 型流变仪测定质量浓度为 5 000 mg/L 共聚物溶液的表面黏度,结果如图 4 所示。

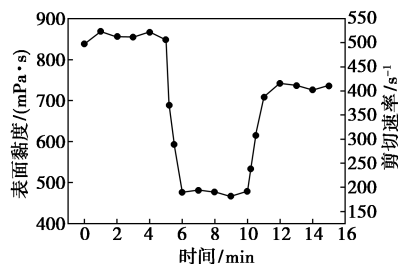
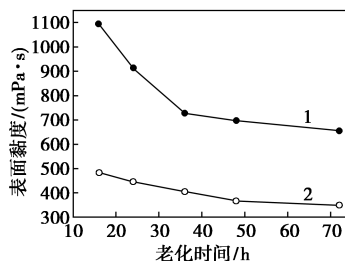


图 4 剪切速率对溶液表面黏度的影响

由图 4 可以看出,当剪切速率为 170 s^{-1} 时,水溶液的表面黏度大致维持在 850 $\text{mPa}\cdot\text{s}$;当剪切速率升至 500 s^{-1} 时,其水溶液表面黏度在 1 min 内即降至 500 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 以下,并维持在 470 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 上下;当速率重新降为 170 s^{-1} 时,溶液黏度又迅速恢复至 730 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 左右,5 min 后的黏度为 737.2 $\text{mPa}\cdot\text{s}$,其黏度保留率约为 86.5%。实验结果表明,水溶液具有一定的剪切稀释性,在钻头水眼处受高剪切速率作用时其黏度可大幅下降,不至于使钻头水功率过大,同时在进入环空后其黏度又很快得到恢复,进而形成牢固的弱凝胶体系,堵塞漏失通道。

2.4 抗温性能测定

配制质量浓度为 5 000 mg/L 的淡水与复合盐水溶液,在 180 $^{\circ}\text{C}$ 下分别滚动 16、24、36、48 h 和 72 h,取出后测定其表面黏度,结果如图 5 所示。



1—淡水;2—复合盐水

图 5 老化时间对溶液表面黏度的影响

由图 5 可以看出,随着老化时间的延长,2 种 PTAPT 水溶液的表面黏度均随之下,在淡水溶液中,老化 16 h 后的表面黏度为 1 096.7 $\text{mPa}\cdot\text{s}$,与老化前的表面黏度 2 417.3 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 相比,其保留率为

45.4%,老化时间超过 36 h 后其黏度下降趋缓,老化 72 h 时其黏度为 696.2 mPa·s,保留率为 28.8%。在复合盐水溶液中,老化 16 h 后其黏度为 487.5 mPa·s,与老化前的表观黏度 1 056.2 mPa·s 相比,其保留率为 47.5%,老化时间超过 48 h 后黏度降幅收窄,老化 72 h 时其黏度为 334.7 mPa·s,保留率为 31.7%。实验结果表明 PTAPT 所形成的交联体系结构稳定性极强,具备良好的抗温性能,即便经受长时间高温、高浓度电解质的同时作用,其水溶液依旧可维持一定的黏度。

2.5 基浆性能测定

分别向淡水和复合盐水基浆中加入不同量的 PTAPT,研究其在 180℃ 老化 16 h 前后的流变与滤失性能,结果分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 PTAPT 对淡水基浆性能的影响

$w(\text{PTAPT})/\%$	老化前				老化后			
	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	$FL_{\text{API}}/\text{mL}$	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	$FL_{\text{API}}/\text{mL}$
0	4.5	3.5	1.0	51.6	3.5	3.0	0.5	74.6
0.5	10.5	9.0	1.5	21.8	8.5	7.5	1.0	32.4
1.0	16.5	15.0	1.5	12.6	13.5	12.0	1.5	20.6
1.5	25.5	21.5	4.0	7.4	18.0	16.0	2.0	11.4
2.0	32.5	29.0	3.5	5.0	23.5	22.0	1.5	7.8

注:AV 为表观黏度, mPa·s; PV 为塑性黏度, mPa·s; YP 为动切力, Pa; FL_{API} 为 API 滤失量, mL。

表 2 PTAPT 对复合盐水基浆性能的影响

$w(\text{PTAPT})/\%$	老化前				老化后			
	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	$FL_{\text{API}}/\text{mL}$	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	$FL_{\text{API}}/\text{mL}$
0	1.5	1.0	0.5	81.2	1.0	0.5	0.5	132.0
0.5	6.5	5.0	1.5	36.8	5.5	4.5	1.0	37.8
1.0	11.5	10.5	1.0	19.8	10.5	9.5	0.5	28.2
1.5	16.5	15.0	1.5	11.6	12.5	12.0	0.5	19.6
2.0	21.5	19.5	2.0	8.2	15.5	14.0	1.5	12.8

由表 1 可以看出,随 PTAPN 质量分数的增大,老化前淡水基浆的黏度与动切力均随之上升,表明 PTAPN 有较强的提黏切作用, FL_{API} 则逐渐减小。当 PTAPN 质量分数为 2.0% 时,淡水基浆的 API 滤失量仅为 5.0 mL,表明基浆的滤失阻力因 PTAPT 的提黏切效应而增大,使其滤失量得到有效控制。经 180℃、16 h 老化后,加入 2.0% PTAPN 的淡水基浆

的表观黏度由加入前的 3.5 mPa·s 增至 23.5 mPa·s,塑性黏度亦从 3.0 mPa·s 增至 22.0 mPa·s,而 FL_{API} 则从加入前的 74.6 mL 大幅降至 7.8 mL,表明 PTAPT 分子结构具有良好的抗温性能,在有效增大淡水基浆黏度的同时,又不会使其发生高温稠化,并可控制基浆滤失量,保证了其在高温环境中的施工性能。由表 2 可以看出,老化前后复合盐水基浆的黏度也随 PTAPT 质量分数的增大而上升,当 PTAPT 质量分数为 2.0% 时,老化前的表观黏度由加入前 1.5 mPa·s 增至 21.5 mPa·s,老化后黏度则从 1.0 mPa·s 增至 15.5 mPa·s,动切力则基本不变。API 滤失量则随之减小,当 PTAPT 质量分数为 2.0% 时,老化前基浆的 FL_{API} 从 81.2 mL 降至 8.2 mL,老化后则从 132.0 mL 降至 12.8 mL。结合表 1 数据,实验结果表明,加入适量 PTAPT 后的淡水与复合盐水基浆在高温老化前后均可维持一定的黏度与较好的流变性,同时其 API 滤失量较之加入前显著降低,表明 PTAPT 具备良好的抗温耐盐降滤失性能。

3 结论

(1) 以自制的含六烯基单体 TDED 作为自交联单体,通过与 AM、AMPS 和 TEAC 进行水溶液共聚反应,制得了钻井液用弱凝胶聚合物 PTAPT。

(2) PTAPT 在淡水与复合盐水中均可形成空间网架结构,当其质量浓度为 5 000 mg/L 时,淡水溶液与复合盐水溶液的表观黏度分别为 2417.3 mPa·s 和 1056.2 mPa·s,且具有一定的剪切稀释性,其黏度保留率大约为 86.5%,同时 PTAPT 抗温性能较强,经 180℃ 老化 72 h 后,淡水和复合盐水中的黏度保留率依旧可达 28.8% 和 31.7%。

(3) PTAPT 对于老化前后的淡水与复合盐水基浆均有显著的提黏作用,不会使基浆发生高温增稠,同时具备良好的抗温耐盐降滤失性能,当加入 2.0% 的 PTAPT 后,淡水基浆的 FL_{API} 分别为 5.0 mL 与 7.8 mL,复合盐水基浆的 FL_{API} 分别为 8.2 mL 和 12.8 mL。

参考文献

- [1] 王中华. 钻井液化学品设计与新产品开发[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006: 37-39.
- [2] 赖南君, 闻一平, 傅波, 等. 复合交联聚合物弱凝胶体系的研制与性能评价[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(3): 87-91.

(下转第 137 页)

优异的分选特性,受到人们的极大关注^[8-10]。迄今为止,人们已成功研制出多种沸石分子筛膜,如 NaA^[11]、Mordenite^[12]、T-type^[13]、ZSM-5^[14]和 Silicalite-1^[15]沸石膜等。ZSM-5 (Zeolite socony mobil five)是一种 MFI 型骨架结构的硅酸盐化合物,其孔道结构发达,主孔道窗口为十元环,由截面近似为圆形的“Z”字形孔道和截面呈椭圆形的直孔道交叉构成,其“Z”字形孔道平行于 a 轴,拐角大约为 150°,孔道尺寸为 0.55×0.51 nm,直孔道平行于 b 轴,孔道尺寸为 0.56 nm×0.53 nm^[16]。该孔道尺寸与工业上许多有机物动力学直径相接近,使得亲水型 ZSM-5 沸石膜在有机物脱水方面具有极大的应用潜力^[17]。

ZSM-5 沸石膜常常以四丙基氢氧化铵 (TPAOH)或四丙基溴化铵 (TPABr)为有机模板剂来制备^[18-19],但在水热晶化成膜后,有机模板剂留存于膜层孔道结构中而阻塞孔道,通常需采用高温煅烧的方法来去除孔道结构中留存的有机模板剂,但由于载体与沸石膜层的热膨胀系数不同,易使得原本连续致密的膜层在高温煅烧过程中产生裂纹等缺陷,从而导致 ZSM-5 沸石膜的分选性能下降。与之对比,在无有机模板剂条件下制备 ZSM-5 沸石膜可有效避免后续高温煅烧过程中膜层产生裂纹等缺陷的问题。由于 ZSM-5 沸石膜制备过程中未使用昂贵的有机模板剂,可有效降低 ZSM-5 沸石膜的制备成本,同时有利于降低晶化及煅烧过程中对环境形成的污染。自 Johan Sterte 等^[20]采用无有机模板剂条件在石英基质上成功研制出连续且薄的 ZSM-

5 沸石膜后,无有机模板剂条件下合成 ZSM-5 沸石膜受到了研究者的极大关注^[14,21]。笔者主要利用市售廉价的大孔 α -Al₂O₃ 多孔载体管为基质,利用变温热浸渍法在载体管外表面涂覆 ZSM-5 大小晶种,之后利用二次生长法以无有机模板剂条件制备高质量纯相 ZSM-5 沸石膜。同时,详细考察了 Na₂O/SiO₂ 摩尔比和 NaF/SiO₂ 摩尔比对制备 ZSM-5 沸石膜膜层形貌和结构的影响,并将制得的 ZSM-5 沸石膜用于渗透汽化异丙醇脱水体系。

1 实验部分

1.1 实验材料与试剂

ZSM-5 沸石分子筛(晶体尺寸约为 2 μm, SiO₂/Al₂O₃ 分子比为 30),上海卓悦化工有限公司生产;大孔 α -Al₂O₃ 多孔载体管(内径为 8 mm,外径为 12 mm,管长为 50 mm,平均孔径为 2~3 μm,孔隙率约为 35%),广东佛山陶瓷研究所有限公司生产;十八水硫酸铝 (Al₂(SO₄)₃·18H₂O,质量分数≥99%),国药集团化学试剂有限公司生产;氢氧化钠 (NaOH,质量分数≥96%),国药集团化学试剂有限公司生产;硅溶胶 (mSiO₂·nH₂O,质量分数为 25.0%),青岛海洋化工有限公司生产;氟化钠 (NaF,质量分数≥98%),国药集团化学试剂有限公司生产;异丙醇 ((CH₃)₂CHOH,质量分数≥99.7%),天津市科密欧化学试剂有限公司生产。

1.2 ZSM-5 沸石膜的制备

依次利用 800 目和 1500 目的 SiC 砂纸打磨 α -Al₂O₃ 多孔载体管外表面至光滑,再分别经酸、碱溶

(上接第 135 页)

- [3] 荀绍华,封明明,叶仲斌,等.丙烯酰胺双丙酮丙烯酰胺自交联聚合物凝胶的研究[J].油田化学,2013,30(3):366-370.
- [4] Amanullah M, Al Arafaj M K, Al-abdullatif Z A. Preliminary test results of nano-based drilling fluids for oil and gas field application [R]. Netherlands: Society of Petroleum Engineers, 2011: 1-9.
- [5] Shi Leiting, Ye Zhongbin, Zhang Zhuo, et al. Necessity and feasibility of improving the residual resistance factor of polymer flooding in heavy oil reservoirs [J]. Petrol Sci, 2010, 7(2): 251-256.
- [6] 赖南君,刘凡. AA/AM/AMPS/DAC 聚合物凝胶调剖剂的制备及评价[J].科学技术与工程,2015,15(24):162-166.
- [7] 尹晓煜.抗温耐盐聚合物的合成、表征及性能评价[D].成都:西南石油大学,2010.
- [8] 陈大钧,赵莹,于小荣,等.新型弱凝胶的交联及其性能研究[J].应用化工,2014,43(7):1168-1170.
- [9] 郭拥军,张新民,冯如森,等.抗温疏水缔合聚合物弱凝胶调驱

剂室内研究[J].油田化学,2007,24(4):344-346.

- [10] 胡小燕,王旭,张丽君,等.一种抗温抗盐交联聚合物堵水剂的合成及性能评价[J].应用化工,2014,43(7):1288-1293.
- [11] Subhash N, Shah, Narayan H, et al. Future challenges of drilling fluids and their rheological measurements [J]. American Association of Drilling Engineers, 2010, 10(41): 1-16.
- [12] Balakrishnan Panamarathupalayam. Crosslinked synthetic polymer-based reservoir drilling fluid; US, 20170198189A1 [P]. 2017-07-13.
- [13] SY/T 5621—1993. 钻井液测试程序[S].北京:中华人民共和国能源部,1990-02-27.
- [14] 刘红艳,周建.两性离子聚合物的生物应用[J].化工进展,2010,24(11):2187-2196.
- [15] 覃孝平,赖南君,叶仲斌,等.水溶性 AM/AA/SAS/EDMA 四元共聚物的合成及其性能[J].石油化工,2013,42(11):1262-1267.
- [16] 王荐,张荣,聂明顺,等.HRD 弱凝胶钻井完井液研究与应用[J].钻井液与完井液,2008,25(6):6-13.
- [17] 邱正松,毛惠,黄维安,等.抗高温钻井液增黏剂的研制及应用[J].石油学报,2015,36(1):106-113. ■