

Synthesis and Performance Evaluation of Amphoteric Polymer Filtration Reducer

Zhiming Huang, Yue Luo*, Xia Jiang, Yuanzhu Mi

School of Chemistry and Environmental Engineering, Yangtze University, Jingzhou Hubei
Email: lyue1958@163.com

Received: Mar. 30th, 2017; accepted: May 28th, 2017; published: Oct. 15th, 2018

Abstract

A kind of amphoteric polymer filtration reducer for drilling fluid was prepared by using acrylamide (AM), 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid (AMPS), allyl polyethylene glycol (APEG-500) and acryloyloxyethyltrimethyl ammonium chloride (DAC) as starting materials with solution polymerization process. The filtration reducer was characterized by FTIR and the effect of monomer mass ratio on the filtration reduction performance of drilling fluid was discussed. In addition, the filtration reduction performance of the reducer was evaluated in freshwater, saturated brine and composite brine base fluids. The results indicate that 65:25:5:5 is the optimum monomer mass ratio of $m(\text{AM}):m(\text{AMPS}):m(\text{APEG-500}):m(\text{DAC})$. The filtration loss of filtration reducer is 7.5, 9.6 and 10.1 mL in freshwater drilling fluids, saturated brine drilling fluids and compound brine drilling fluids respectively. It can be used at the highest temperature of 200°C.

Keywords

Amphoteric Polymer, Polymer Drilling Fluid, Filtration Reduction Performance

*通信作者。

两性聚合物降滤失剂的合成及性能评价

黄志明, 罗 跃*, 江 夏, 米远祝

长江大学化学与环境工程学院, 湖北 荆州

作者简介: 黄志明(1992-), 男, 硕士生, 主要从事油田应用化学方面的学习与研究。

Email: lyue1958@163.com

收稿日期: 2017年3月30日; 录用日期: 2017年5月28日; 发布日期: 2018年10月15日

摘 要

以丙烯酰胺(AM)、2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(AMPS)、烯丙基聚乙二醇(APEG-500)、丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵(DAC)为单体, 利用溶液聚合法制备了一种钻井液用两性聚合物降滤失剂。对降滤失剂进行了红外光谱表征, 探讨了单体质量比对钻井液降滤失性能的影响, 评价了降滤失剂在淡水基浆、饱和盐水基浆、复合盐水基浆中的降滤失性能。研究表明: 单体的最佳配比为 $m(\text{AM}): m(\text{AMPS}): m(\text{APEG-500}): m(\text{DAC}) = 65:25:5:5$, 降滤失剂在淡水基浆、饱和盐水基浆、复合盐水基浆的滤失量分别为7.5、9.6、10.1 mL, 最高使用温度可达200℃。

关键词

两性聚合物, 聚合物钻井液, 降滤失性能

Copyright © 2018 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着油气资源勘探不断向深部地层发展, 一些高温深井以及地质条件复杂井使得钻井液的抗温、抗盐性能面临严重挑战[1]。钻井液性能的要求对于石油天然气工业至关重要, 其中降滤失剂是深井、超深井、复杂地质井等钻井液中关键处理剂之一, 其对维护钻井液性能稳定, 保障钻采安全高效, 保护储层、油层等方面起着非常关键的作用[2] [3]。目前, 纤维素、腐殖酸、淀粉等天然产物和丙烯酰胺类聚合物是应用比较广泛的两大类降滤失剂。天然产物降滤失剂具有原材料来源广, 价格相对便宜等优点, 但是现场使用时存在黏度损失导致钻井液流变性变差、较高地层温度下易降解, 容易被 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 污染等问题, 造成复杂的井下情况, 限制其应用范围[4] [5] [6]; 丙烯酰胺类聚合物具有良好的抗温、抗盐能力, 性能稳定, 具有很大的应用潜力。但是, 传统聚合物存在分子量分布范围宽、价格不好控制, 抗温、抗盐性仍不能满足目前钻井液的性能需求等问题, 因此研制性能更加优良的新型聚合物降滤失剂非常迫切[7]。

目前研究的两性聚合物降滤失剂不仅具有良好的降滤失性能, 还可抑制页岩水化膨胀, 该类降滤失剂具有一剂多效、用量少以及成本低的特点。例如, 罗霄等[8]以 2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(AMPS), 丙烯酰胺(AM), 二甲基二烯丙基氯化铵(DMDAAC)、乙烯基吡咯酮(NVP)制备了一种两性离子共聚物降

滤失剂 PADMS, 具有一定的抗温、抗盐钙、抗降解能力, 与黏土颗粒的吸附作用强于传统的降滤失剂 SMP-II。白晓东等[9]也报道了一种新型四元聚合物, 研究发现 2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(AMPS)/丙烯酰胺(AM)/二甲基二烯丙基氯化铵(DMDAAC)/苯乙烯磺酸钠(SSS)四元聚合物降滤失剂具有优良的耐高温性能。此外, 张玉平等[10]以丙烯酰胺(AM)、2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(AMPS)、二甲基二烯丙基氯化铵(DMDAAC)、双丙酮丙烯酰胺(DAAM)为原料, 制备了 AM/AMPS/DMDAAC/DAAM 四元共聚物, 实验表明二甲基二烯丙基氯化铵共聚时主链上形成刚性五元环, 同时引入少量的阳离子基团与黏土颗粒产生正面封堵, 从而增强主链的热稳定性和抑制性, 四元共聚物具有较好的抗盐和增黏性能。但是, 目前关于两性聚合物降滤失剂报道较少, 仍不能满足钻井液发展对抗高温、抗盐性能要求, 两性聚合物降滤失剂的研究仍是目前的重点[11]。

丙烯酰胺(AM)中含有酰胺基团, 共聚物分子链上具有水化基团和吸附基团, 其吸附能力强; 2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(AMPS)中含有可离子化基团的 SO_3^{2-} 增加与黏土颗粒的水化作用, 并且能提高对盐、钙的耐受性能, 从而稳定钻井液; 烯丙基聚乙二醇(APEG-500)长链可以伸入黏土悬浮介质中, 并在高温、高盐的环境中从空间上阻碍胶体聚集, 同时 APEG-500 的非离子基团易形成氢键, 提高降滤失效果; 丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵(DAC)在分子链上引入阳离子基团, 有助于提高与黏土颗粒的封堵抑制作用。因此, 选取 AM、AMPS、APEG-500、DAC 为共聚单体, 利用溶液聚合法制备了一种钻井液用两性降滤失剂, 并对制备产物的降滤失性能和抗温、抗盐性能进行了评价。

2. 试验部分

2.1. 试剂及试验仪器

试剂有: 丙烯酰胺(AM)、2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(AMPS)、烯丙基聚乙二醇(APEG-500)、碳酸钠、氢氧化钠、氯化钠、过硫酸铵(APS)、亚硫酸氢钠(SHS)、乙二胺四乙酸二钠(EDTA)、十二烷基硫酸钠(SDS), 以上试剂均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 丙烯酰氧基乙基氯化铵(DAC), 工业级, 济南万多鑫化工有限公司。

试验仪器有: DZKW-4 型数显恒温水浴锅, 北京中兴伟业仪器有限公司; MPLR-702 数显控温磁力搅拌器, 常州市金坛大地自动化仪器厂; Nicolet 6700 型 FT-IR, 美国 Microtrac 公司; ZNN-D6 型旋转黏度计、BURI-2 型高温滚子加热炉、CJSS-B12K 型变频高速搅拌机、ZNS 型滤失仪, 青岛海通达专用仪器有限公司; LG-01 型高速多功能粉碎机, 百信制药机械有限公司。

2.2. 两性聚合物的合成

称取一定量的 AMPS 溶于去离子水, 在冰水浴环境下用 30% NaOH 水溶液调节 pH 值至 7~9, 依次加入一定量的 AM、APEG-500、DAC, EDTA、SDS)将单体混合溶液转入带有磁力搅拌器、温度计、氮气进出口的三口烧瓶中, 通入氮气并升温到设定温度, 加入氧化还原引发剂 $\text{NaHSO}_3\text{-(NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, 反应 6 h。将反应得到的黏稠状产物转移至烧杯中, 加入乙醇浸泡, 除去未反应的单体和引发剂, 提纯后的聚合物置于 50℃真空干燥箱中干燥 24 h。两性聚合物合成反应式如图 1。

2.3. 不同体系基浆的配制

淡水基浆: 1 L 去离子水 + 质量分数为 4.0%的膨润土 + 2.4 g Na_2CO_3 。

复合盐水基浆: 1 L 去离子水 + 质量分数为 4.0%的膨润土 + 2.4 g Na_2CO_3 + 45 g NaCl + 5 g CaCl_2 + 13 g MgCl_2 。

饱和盐水基浆:淡水基浆 + 40 g NaCl。

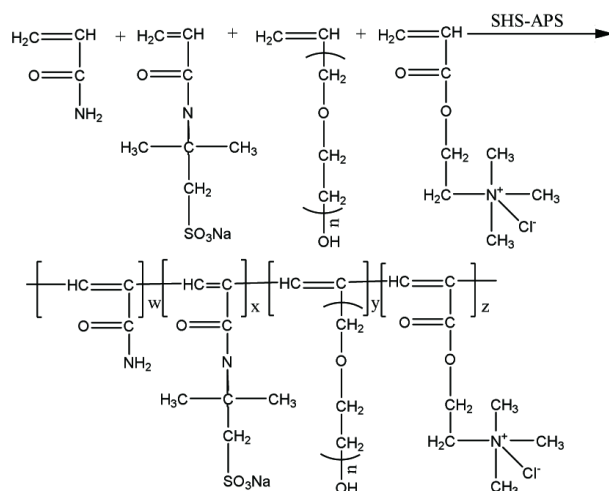


Figure 1. The reaction formula of amphoteric polymer synthesis
图 1. 两性聚合物合成反应式

3. 结果与讨论

3.1. 红外光谱分析

利用 Nicolet6700 型傅里叶红外光谱仪对单体配比为 65:25:5:5 的聚合物进行结构表征, 采用 KBr 压片法, 扫描范围为 $4000\sim 400\text{ cm}^{-1}$, 分辨率为 2 cm^{-1} , 扫描次数 16 次。由图 2 聚合物的红外光谱可知: 3415.37 cm^{-1} 处的特征吸收峰为 AM 中 —NH_2 的 N—H 键的伸缩振动; 3207.09 cm^{-1} 处的吸收峰为 O—H 键的伸缩振动; 2921.67 , 2821.32 cm^{-1} 处的吸收峰为 —CH_3 中 C—H 键的伸缩振动; 1688.15 cm^{-1} 处的吸收峰为 C=O 键的伸缩振动; 15848.58 cm^{-1} 处的吸收峰为 —NH_2 中的 N—H 键的弯曲振动; 1452.49 cm^{-1} 处的吸收峰为 C—H 键的弯曲振动; 1357.66 cm^{-1} 处的吸收峰归属于 DAC 中的 C—N 键的伸缩振动; 1299.81 、 1250.31 cm^{-1} 处的吸收峰是 APEG-500 中的 C—O—C 键的伸缩振动; 748.33 cm^{-1} 处的吸收峰为 DAC 中 C—Cl 键的伸缩振动; 此外, 1037.53 cm^{-1} 和 1108.89 cm^{-1} 处的吸收峰为 AMPS 中的 SO_3^- 的特征吸收峰; 且在 1645 cm^{-1} 至 1620 cm^{-1} 没有 —C=C— 键的伸缩振动吸收峰, 表明图 1 设计的 4 种单体都参加了聚合反应, 合成的产物与目标产物一致。

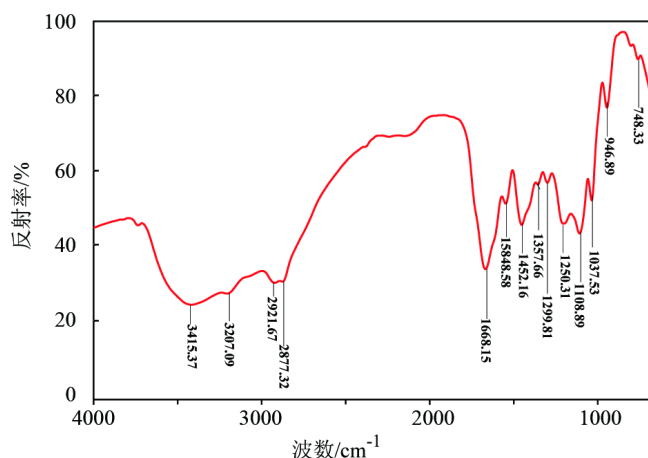


Figure 2. FT-IR spectrum of target polymer
图 2. 目标聚合物的红外光谱

3.2. 聚合物单体对比对淡水基浆流变性能的影响

单体质量比直接决定着聚合物的分子链结构, 从而影响聚合物的流变性能。利用溶液聚合法制备四元共聚物, 考察了不同单体配比聚合物在淡水基浆中的流变性能(聚合物添加的质量分数为 1.0%), 实验结果见表 1。淡水基浆中未加入聚合物降滤失剂时, 表观黏度、塑性黏度分别为 6 mPa·s、4 mPa·s, 动切力仅为 1.92 Pa, API 滤失量高达 29.6 mL。而在淡水基浆中加入不同配比的聚合物后, 其流变性能和降滤失性能均有明显提高, 说明该聚合物在淡水基浆中不仅具有良好的降滤失性能, 而且具有良好的增黏提切能力。当单体质量比为 $m(\text{AM}): m(\text{AMPS}): m(\text{APEG-500}): m(\text{DAC}) = 65:25:5:5$ 时, 钻井液的表观黏度、塑性黏度分别为 31、18 mPa·s, API 滤失量为 7.8 mL, 与其他单体配比相比具有更优的降滤失性能, 同时流变性能优良。因此, 选择单体的最佳质量比为 $m(\text{AM}): m(\text{AMPS}): m(\text{APEG-500}): m(\text{DAC}) = 65:25:5:5$ 时, 合成的聚合物分子链中具有较多的功能基团, 功能基团之间可以充分发挥其协同作用[12], 从而具有良好的流变性能和降滤失性能。

Table 1. The effect of polymer monomer mass ratios on the rheological properties of freshwater drilling fluid

表 1. 聚合物单体对比对淡水基浆流变性能的影响

$m(\text{AM}): m(\text{AMPS}): m(\text{APEG-500}): m(\text{DAC})$	表观黏度/(mPa·s)	塑性黏度/(mPa·s)	动塑比/Pa	滤失量/mL
空白	6	4	1.92	29.6
70:20:5:5	36	21	10.53	10.6
65:25:5:5	31	18	12.50	7.8
60:25:5:10	32	16	12.45	12.6
60:25:10:5	34	20	15.32	9.8
60:30:5:5	30	20	11.49	8.7

3.3. 聚合物质量分数对淡水基浆流变性能的影响

表 2 是聚合物质量分数对淡水基浆流变性能和降滤失性能的影响。由表 2 可知, 随着聚合物加量的增加, 淡水基浆的表观黏度、塑性黏度和动切力均有明显提高, API 滤失量呈现不断减小的趋势; 当聚合物质量分数为 1.0% 时, 与未加聚合物的淡水基浆相比, 表观黏度和塑性黏度分别由 6 mPa·s 和 4 mPa·s 增加到 31 mPa·s 和 18 mPa·s, 钻井液的 API 滤失量由 29.6 mL 降低至 7.8 mL, 动切力由 1.92 Pa 增加到 12.45 Pa, 表明聚合物具有良好的降滤失性能和增黏提切性能。当聚合物的质量分数增加到 1.2% 时, 降滤失效果没有显著提高, 但钻井液黏度和动切力均大幅度增加, 致使其流变性能变差, 所以当聚合物质量分数为 1.0% 时为宜。这主要是因为随着聚合物质量分数的增加, 高分子链段之间缠绕越紧密, 增大了高分子链的有效体积, 从而使钻井液的黏度进一步增加, 减少了钻井液的滤失量[13]。此外聚合物大分子长链吸附于黏土颗粒表面形成的网状结构导致滤饼致密而韧, 也能有效地控制钻井液 API 滤失量。

Table 2. The effect of polymer mass fraction on the rheological properties of freshwater drilling fluids

表 2. 聚合物质量分数对淡水基浆的流变性能影响

聚合物质量分数/%	$N_{\Phi 600}$	$N_{\Phi 300}$	表观黏度/(mPa·s)	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	API 滤失量/mL
0.0	12	8	6.0	4	1.92	29.6
0.5	30	21	15.0	9	5.75	9.6
0.7	47	32	23.5	15	8.14	8.9
1.0	62	44	31.0	18	12.45	7.8
1.2	103	72	51.5	31	19.63	7.5

注: $N_{\Phi 600}$ 、 $N_{\Phi 300}$ 分别为六速旋转黏度计 600、300 r/min 对应的读数。

3.4. 聚合物质量分数对饱和盐水基浆流变性能的影响

表 3 是聚合物质量分数对饱和盐水基浆流变性能和降滤失性能的影响。可以看出, 当饱和盐水基浆中没有加入聚合物时, 表观黏度、塑性黏度和动切力均非常低, API 滤失量为 118.6 mL, 这主要是因为饱和盐水基浆中黏土颗粒相互聚结变大, 表面积减小, 黏土颗粒的分散受到抑制。随着聚合物质量分数的增加, 钻井液的表现黏度、塑性黏度和动切力均明显提高, API 滤失量明显降低; 当质量分数为 2.0% 时, 表观黏度为 24.5 mPa·s, 塑性黏度为 15 mPa·s, 动切力为 9.12 Pa, API 滤失量为 9.6 mL。从数据可知, 聚合物在饱和盐水基浆中具有良好的降滤失性能、流变性能和抗盐性能。在饱和盐水基浆中, 两性聚合物侧链上的阴离子基团活性受电解质的压缩双电层影响较小[14] [15]; 另一方面, 聚合物侧链中的非离子基团亲水性强且氢键作用使聚合物分子内和分子间缔合, 能在黏土颗粒表面充分地水化而形成较厚的溶剂化层, 减缓了聚合物的盐析效应, 具有良好的溶解性, 因此具有优异的抗盐性能[16]。

Table 3. The effect of polymer mass fraction on the rheological properties of saturated brine drilling fluids

表 3. 聚合物质量分数对饱和盐水基浆流变性能的影响

聚合物质量分数/%	$N_{\Phi 600}$	$N_{\Phi 300}$	表观黏度/(mPa·s)	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	API 滤失量/mL
0.0	10	7	5.0	3	1.92	118.6
0.5	21	14	10.5	7	3.36	50.5
1.0	35	24	17.5	11	6.24	29.8
1.5	44	31	22.0	13	8.64	14.7
2.0	49	34	24.5	15	9.12	9.6

3.5. 聚合物质量分数对复合盐水基浆流变性能的影响

表 4 是聚合物质量分数对复合盐水基浆流变性能和降滤失性能的影响。由表 4 可知, 当聚合物质量分数为 0.5% 时, 尽管表观黏度、塑性黏度和动切力与基浆相比增加并不明显, 但是 API 滤失量由 96.5 mL 减小到 31.2 mL, 说明聚合物在复合盐水基浆中有良好的降滤失性能; 当质量分数为 2.0% 时, 聚合物具有良好的抗盐、抗钙性能。这主要是因为聚合物分子链上阳离子基团与黏土端面的静电作用, 增强聚合物在复合盐水基浆中的抑制性; SO_3^- 具有较强水化能力和吸附能力, 很好地吸附于黏土颗粒表面, 提高了黏土表面电荷密度, 使得 ζ 电位升高, 避免了盐、钙侵入的压缩双电层影响, 增大了黏土粒子间静电排斥力, 提高了钻井液的静电稳定性, APEG-500 中的长侧链通过伸入悬浮液而在空间上提高了钻井液中的护胶性, 使得降滤失剂具有一定的抗盐、钙性[17]。

Table 4. The effect of polymer mass fraction on the rheological properties of compound brine drilling fluids

表 4. 聚合物质量分数对复合盐水基浆流变性能的影响

聚合物质量分数/%	$N_{\Phi 600}$	$N_{\Phi 300}$	表观黏度/(mPa·s)	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	API 滤失量/mL
0.0	6	4	3.0	2	0.96	96.5
0.5	9	6	4.5	3	1.44	37.2
1.0	13	9	6.5	4	2.39	20.8
1.5	19	13	9.5	6	2.35	14.7
2.0	27	19	13.5	8	5.27	10.1

3.6. 聚合物的抗温性能

表 5 是在淡水基浆中热滚老化温度对聚物流变性能的影响, 老化时间为 16 h。从表 5 可知, 随着热滚老化温度的增加, 表观黏度和塑性黏度均呈逐渐减小的趋势, API 滤失量逐渐增加, 但是增加的幅度并不大; 200℃与 180℃热滚老化相比, API 滤失量从 9.8 mL 增大为 13.90 mL, 表观黏度和塑性黏度分别从 29 mPa·s 和 19 mPa·s 降低到 22 mPa·s 和 14 mPa·s, 说明聚合物在 200℃高温热滚后仍然维持相对良好的降滤失性能和流变性能。这主要是因为聚合物主链由 C—C 键构成, C—C 的键能高, 赋予分子主链优良的热稳定性, 同时侧链中含 SO_3^{2-} 、 $\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{Cl}^-$ 等热稳定性较好的官能团, 从而提高了降滤失剂的热稳定性; 另一方面, 高温使得钻井液体系的布朗运动加剧, 聚合物吸附作用阻止了黏土颗粒间的聚结, 改善了黏土粒径分布和在钻井液中的分散性, 使其在高温环境中仍具有良好的降滤失性能, 表现出良好的抗温性能[18] [19]。

Table 5. The effect of aging temperature on the rheological properties of polymer

表 5. 老化温度对聚物流变性能的影响

老化温度/℃	$N_{\Phi 600}$	$N_{\Phi 300}$	表观黏度/(mPa·s)	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	API 滤失量/mL
未老化	103	72	51.5	31	19.63	7.5
150	75	51	37.5	24	12.93	8.4
160	69	46	34.5	23	11.01	9.1
180	58	40	29.0	19	9.58	9.8
200	56	37	22.0	14	7.66	13.9

4. 结论

1) 以 AM、AMPS、APEG-500、DAC 为单体, 制备了一种钻井液用两性聚合物降滤失剂, 该降滤失剂的单体最佳质量配比为 $m(\text{AM}): m(\text{AMPS}): m(\text{APEG-500}): m(\text{DAC}) = 65:25:5:5$ 。

2) 降滤失剂在淡水、饱和盐水和复合盐水基浆中均具有良好的降滤失性能和流变性能, 在淡水基浆中质量分数为 1.2%时, API 滤失量为 7.5 mL, 200℃热滚老化 16 h 后的 API 滤失量为 13.9 mL。

3) 聚合物降滤失剂还具有优良的抗盐、抗钙性能, 当在饱和盐水基浆、复合盐水基浆中质量分数为 2.0%时, API 滤失量分别为 9.6、10.1 mL。

基金项目

国家科技重大专项(2011ZX05021-004)。

参考文献

- [1] Peng, B., Peng, S., Long, B., *et al.* (2010) Properties of High-Temperature-Resistant Drilling Fluids Incorporating Acrylamide/(Acrylic Acid)/(2-Acrylamido-2-Methyl-1-Propane Sulfonic Acid) Terpolymer and Aluminum Citrate as Filtration Control Agents. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, **16**, 84-89. <https://doi.org/10.1002/vnl.20199>
- [2] Wan, T., Yao, J., Sun, Z., *et al.* (2011) Solution and Drilling Fluid Properties of Water Soluble AM-AA-SSS Copolymers by Inverse Microemulsion. *Journal of Petroleum Science & Engineering*, **78**, 334-337. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2011.06.027>
- [3] Song, K., Wu, Q., Li, M., *et al.* (2016) Water-Based Bentonite Drilling Fluids Modified by Novel Biopolymer for Minimizing Fluid Loss and Formation Damage. *Colloids & Surfaces A Physicochemical & Engineering Aspects*, **507**, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.07.092>
- [4] 李晔. 基于木质素的降滤失剂合成及应用研究[D]: [硕士学位论文]. 吉林: 吉林大学, 2015.

- [5] 乔营, 李烁, 魏朋正, 等. 耐温耐盐淀粉类降滤失剂的改性研究与性能评价[J]. 钻井液与完井液, 2014, 31(4): 19-22.
- [6] 张群正, 李长春, 张宇, 等. 腐植酸类降滤失剂的研究进展[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2010, 25(4): 71-77.
- [7] Liu, L., Pu, X.L., Tao, H.Z., *et al.* (2018) Synthesis and Characterization of Comb-Shaped Copolymer as a Filtration Reducer and Comparison with Counterparts. *RSC Advances*, **8**, 11424-11435. <https://doi.org/10.1039/C7RA13255G>
- [8] 罗霄, 蒲晓林, 李之军, 等. 两性离子聚合物降滤失剂 PADMS 的制备与室内性能评价[J]. 油田化学, 2014, 31(2): 177-181.
- [9] Bai, X., Yang, Y., Xiao, D., *et al.* (2015) Synthesis, Characterization, and Performance Evaluation of the AM/AMPS/DMDAAC/SSS Quadripolymer as a Fluid Loss Additive for Water-Based Drilling Fluid. *Journal of Applied Polymer Science*, **132**, 27-34. <https://doi.org/10.1002/app.41762>
- [10] 张玉平, 郭美玲. AM/AMPS/DMDAAC/DAAM 共聚物的合成与降滤失性能[J]. 精细石油化工, 2017, 34(3): 44-48.
- [11] 马喜平, 朱忠祥, 王成龙. 共聚物 PAAND 作钻井液降滤失剂的合成及应用评价[J]. 精细化工, 2016, 33(5): 574-581.
- [12] 全红平, 徐为明, 袁志平. AM/APEG/AA/SSS 聚合物降滤失剂的合成及性能[J]. 石油化工, 2017, 46(3): 356-363.
- [13] 何曼君, 陈维孝, 董西侠. 高分子物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1990.
- [14] 齐从丽, 马喜平, 吴建军. 新型两性离子聚合物在油田的应用现状[J]. 化工时刊, 2004, 18(6): 20-24.
- [15] Kurenkov, V.F. and Kurenkov, A.V. (2011) Copolymerization of Sodium 2-Acrylamido-2-Methylpropanesulfonate with Sodium Acrylate in Water-Dimethyl Sulfoxide Solutions. *Russian Journal of Applied Chemistry*, **84**, 679-684. <https://doi.org/10.1134/S1070427211040215>
- [16] 张太亮, 刘婉琴, 李亮, 等. 四元共聚钻井液降滤失剂的合成与性能评价[J]. 精细化工, 2014, 31(10): 1269-1274.
- [17] 周辉, 郭保雨, 江智君. 深井抗高温钻井液体系的研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2005, 22(4): 46-48.
- [18] 黄维安, 邱正松, 徐加放, 等. 超高温抗盐聚合物降滤失剂的研制及应用[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2011, 35(1): 155-158.
- [19] 严思明, 杨坤, 王富辉, 等. 新型耐高温油井降失水剂的合成与性能评价[J]. 石油学报, 2016, 37(5): 672-679.

[编辑] 帅群



知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: jogt@hanspub.org