

抗温耐盐钻井液降滤失剂 DASAN 的合成及性能研究

全红平^{1,2*}, 肖盛文^{1,2}, 梁燕³

(1.西南石油大学化学化工学院,四川成都610500; 2.油田化学教育部工程研究中心,四川成都610500; 3.中国石油天然气集团公司新疆油田分公司油气储运公司,新疆克拉玛依834000)

摘要:针对现用水基钻井液降滤失剂抗温耐盐能力不足的问题,以 *N,N*-二甲基丙烯酰胺 (DMAA)、丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸 (AMPS)、磺酸甜菜碱 (SPE)、烯丙基聚氧乙烯醚 (APEG-2400)、*N*-乙烯基吡咯烷酮 (NVP) 为单体,采用水溶液聚合方式合成了一种抗温耐盐水基钻井液降滤失剂 DASAN。通过单因素法对合成条件进行优化,利用傅里叶红外光谱仪和凝胶色谱仪确定了聚合产物的分子结构及分子质量;通过热重分析仪分析了 DASAN 的热重稳定性。结果表明,在 DASAN 质量分数为 1.5%,200°C 老化后,滤失量为 8.6 mL;在 36% NaCl 和 1.0% CaCl₂ 的盐水泥浆中滤失量分别 3.7 mL 和 7.3 mL,同时耐复合盐方面也有优良的性能。通过形貌、Zeta 电位和粒度分析表明,DASAN 能有效地提高滤饼质量,增强静电稳定性和降低黏土颗粒大小,以此达到降滤失的效果。

关键词:水基钻井液;降滤失剂;抗温;耐盐

中图分类号:TE254.4

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2025)05-0151-07

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2025.05.025

Synthesis and performance evaluation of DASAN filtrate loss reducer for temperature resistant and salt tolerant drilling fluid

QUAN Hong-ping^{1,2*}, XIAO Sheng-wen^{1,2}, LIANG Yan³

(1.College of Chemistry & Chemical Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2.Oilfield Chemistry Engineering Research Center of Ministry of Education, Chengdu 610500, China;

3.Oil & Gas Storage and Transportation Company, Xinjiang Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Karamay 834000, China)

Abstract:To address insufficient temperature and salt resistance of current filtration loss reducer for water-based drilling fluid, a novel filtration loss reducer with temperature and salt resistance, DASAN, is synthesized via aqueous solution polymerization method by using *N,N*-dimethylacrylamide (DMAA), acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid (AMPS), sulfobetaine (SPE), allyl polyoxyethylene ether (APEG-2400), and *N*-vinylpyrrolidone (NVP) as monomers. The synthesis conditions are optimized through single-factor method. The molecular structure and molecular weight of DASAN copolymer are determined by means of FT-IR and gel chromatograph (GPC), and the thermogravimetric stability is analyzed by means of TGA. It is shown by the results that the filtrate loss amount is 8.6 mL when the mass fraction of DASAN is 1.5% and the aging is done at 200°C. The filtrate loss amount is 3.7 mL in 36% NaCl slurry and 7.3 mL in 1.0% CaCl₂ slurry. DASAN also exhibits excellent composite salt tolerance. Through the analysis of morphology, Zeta potential and particle size, it is verified that DASAN can effectively improve the quality of filter cake, enhance the electrostatic stability and reduce the size of clay particles, as a way to achieve the effect of reducing the filtration loss.

Key words: water-based drilling fluid; filtrate loss reducer; temperature resistance; salt tolerance

随着我国深层、超深层油气勘探的发展,复杂高温高盐地层对钻井液性能提出更高要求^[1-2]。降滤失剂作为关键处理剂需在高温高盐环境下维持稳定性能,通过减少滤液侵入地层、形成优质泥饼来保障井壁稳定。传统天然高分子类虽成本低且环保但抗温耐盐性不足^[3]。目前以丙烯酰胺 (AM) 为主体的降滤失剂受到广泛研究,但拥有较大空间位阻且具有一定疏水缔合作用的 *N,N*-二甲基丙烯酰胺 (DMAA) 作为主体能使其拥有更好的抗温性

能^[4-6],2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸 (AMPS) 和磺酸甜菜碱 (SPE) 带有的磺酸基团,可以显著提高降滤失剂的抗温和耐盐能力^[7-8],另外,SPE 由于同时具有正负电荷,使其具有反聚电解质溶液效应,能让其在电解质入侵时不太敏感^[9-12],APEG 的长链可用于传递立体排斥和静电斥力,从而维持黏土颗粒的分散,而 APEG-2400 比其他链长的 APEG 抗温性更优^[13-15],*N*-乙烯基吡咯烷酮 (NVP) 由于具有刚性很强的五元杂环结构,能有效地提高分子链的

收稿日期:2024-12-27;修回日期:2025-03-05

基金项目:四川省科技计划资助项目(2019YJ0315)

作者简介:全红平(1982-),男,博士,教授,主要从事油田化学品的研发与应用,通讯联系人,59183228@qq.com。

热稳定性^[16],提高降滤失剂抗温能力。因此,选用 DMAA、AMPS、SPE、APEG-2400、NVP 合成抗高温耐盐钻井液降滤失剂。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

主要实验试剂:烯丙基聚乙二醇(APEG-2400),工业级;*N,N*-二甲基丙烯酰胺(DMAA)、磺酸甜菜(SPE)、2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(AMPS)、*N*-乙基吡咯烷酮(NVP)、2,2'-偶氮二(2-甲基丙基脘)二盐酸盐(V50)、Na₂CO₃、NaCl、CaCl₂、NaOH,均为分析纯。

主要实验仪器:JJ-1 型增力电动搅拌器;S212 型高速搅拌机;ZNN-D6B 型六速旋转黏度计;ZNS-2 型泥浆失水量测定仪;BRGL-7 型滚子加热炉;WQF-520 型傅里叶红外变换光谱仪;Mettler TGA/DSC1 型同步综合热分析仪;Agilent 1260 Infinity II 型凝胶渗透色谱仪;Zata PALS 190 Plus 型 Zeta 电位仪;Phenmo pro X 型扫描电子显微镜;Master sizer 2000 型激光粒度分析仪。

1.2 降滤失剂的合成

将一定量的 AMPS 溶入去离子水中,用 NaOH 小颗粒调节溶液 pH 至 7,再按一定比例加入 DMAA、SPE、APEG-2400 和 NVP,充分搅拌,待温度达到设定值后加入引发剂 V50,反应一段时间后得到胶体状聚合物降滤失剂,用无水乙醇和丙酮进行洗涤、剪切提纯烘干打粉后得到降滤失剂 DASAN, DASAN 聚合原理如图 1 所示。

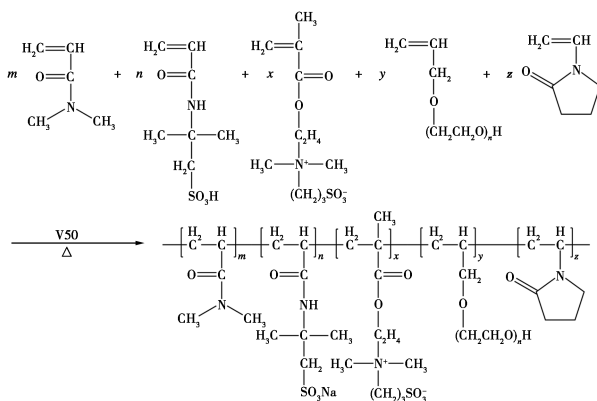


图 1 DASAN 聚合原理

1.3 降滤失剂的结构表征

利用傅里叶变换红外光谱仪(WQF-520 型)表征 DASAN 分子结构;利用凝胶渗透色谱仪(Agilent 1260 Infinity II 型)测试 DASAN 的相对分子质量;

利用热重分析仪(Mettler TGA/DSC1 型)考察 DASAN 的热稳定性。

1.4 性能评价

1.4.1 基浆的配制

(1)淡水基浆:在 5 000 mL 烧杯中加入 3 000 mL 自来水,搅拌下加入 4.8 g 无水碳酸钠和 120 g 钠膨润土,搅拌至少 2 h 后,在室温条件下密闭静置 24 h 得到所需淡水基浆。

(2)盐水基浆:在 400 mL 配置好的淡水基浆中加入一定质量的盐,高速搅拌 20 min 后得到盐水基浆。

1.4.2 流变性与滤失性测定

按照 GB/T 16783.1—2014 标准,采用六速旋转黏度计和泥浆失水量测定仪测定老化前后水基钻井液的表观黏度(*AV*)、塑性黏度(*PV*)、动切力(*YP*)和滤失量(*FL_{API}*)。

2 结果与讨论

2.1 降滤失剂合成条件优化

2.1.1 单体配比优化

固定反应时间为 5 h、反应温度为 60℃、单体质量分数为 30%、引发剂质量分数为 0.3%、反应 pH 为 7,改变单体摩尔比合成 DASAN,并在淡水基浆中加入 1.0% 的 DASAN,考察其降滤失性能,结果见表 1。由表 1 可知,当单体摩尔比 $n(\text{DMAA}) : n(\text{AMPS}) : n(\text{SPE}) : n(\text{APEG-2400}) : n(\text{NVP}) = 100 : 8 : 1 : 1 : 0.5$ 时,滤失量为 7.1 mL,降滤失效果最好,说明在该摩尔比下的降滤失剂官能团之间达到良好的协同作用,使降滤失剂具有优良的降滤失效果。

表 1 单体配比优化

序号	$n(\text{DMAA}) : n(\text{AMPS}) : n(\text{SPE}) : n(\text{APEG-2400}) : n(\text{NVP})$	FL_{API} / mL
1	90 : 8 : 1 : 1 : 0.5	7.7
2	100 : 8 : 1 : 1 : 0.5	7.1
3	100 : 4 : 1 : 1 : 0.5	7.4
4	100 : 12 : 1 : 1 : 0.5	8.0
5	100 : 8 : 1.5 : 1 : 0.5	7.5
6	100 : 8 : 2 : 1 : 0.5	8.1
7	100 : 8 : 1 : 1.5 : 0.5	7.4
8	100 : 8 : 1 : 2 : 0.5	8.0
9	100 : 8 : 1 : 1 : 1	7.5
10	100 : 8 : 1 : 1 : 1.5	7.8

2.1.2 单体质量分数的优化

固定单体摩尔比 $n(\text{DMAA}) : n(\text{AMPS}) : n(\text{SPE}) : n(\text{APEG-2400}) : n(\text{NVP}) = 100 : 8 : 1 : 1 : 0.5$ 、反应时间为 5 h、反应温度为 60℃、引发剂质量分数为 0.3%、反应 pH 为 7, 改变单体质量分数合成 DASAN, 并在淡水基浆中加入 1.0% 的 DASAN, 考察其降滤失性能, 结果如图 2 所示。由图 2 可知, 当单体质量分数为 35% 时, 滤失量达到最低为 7.0 mL。当单体质量分数较低时, 分子间碰撞减少, 导致 DASAN 分子质量较小; 而高浓度下单体间碰撞频率提高虽加速反应速度, 却会降低聚合度, 从而降低滤失效果。因此确定单体质量分数为 35%。

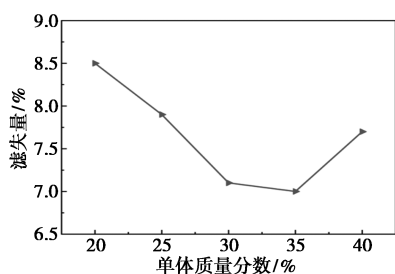


图 2 单体质量分数的优化

2.1.3 聚合反应 pH 的优化

固定单体摩尔比 $n(\text{DMAA}) : n(\text{AMPS}) : n(\text{SPE}) : n(\text{APEG-2400}) : n(\text{NVP}) = 100 : 8 : 1 : 1 : 0.5$ 、反应时间为 5 h、反应温度为 60℃、引发剂质量分数为 0.3%、单体质量分数为 35%, 改变反应 pH 合成 DASAN, 并在淡水基浆中加入 1.0% 的 DASAN, 考察其降滤失性能, 结果见图 3。由图 3 可知, 滤失量随着 pH 的增大先减小再增大, 酸性条件抑制了引发剂分解和链转移作用, 降低聚合物聚合性能; 强碱条件加速链转移和引发剂水解, 导致反应提前终止使分子质量过小, 两者均削弱了 DASAN 降滤失效果。由此确定体系聚合反应 pH 为 8, 此时滤失量为 6.8 mL。

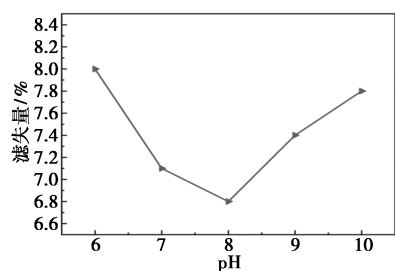


图 3 聚合反应 pH 优化

2.1.4 聚合反应温度优化

固定单体摩尔比 $n(\text{DMAA}) : n(\text{AMPS}) : n(\text{SPE}) :$

$n(\text{APEG-2400}) : n(\text{NVP}) = 100 : 8 : 1 : 1 : 0.5$ 、反应时间为 5 h、引发剂质量分数为 0.3%、单体质量分数为 35%、反应 pH 为 8, 改变聚合反应温度合成 DASAN, 并在淡水基浆中加入 1.0% 的 DASAN, 考察其降滤失性能, 结果见图 4。由图 4 可知, 滤失量随反应温度升高呈先降后升趋势, 60℃ 时达最低值 6.8 mL。当温度低于 60℃ 时, 因引发剂分解缓慢导致自由基浓度较低, 单体反应不完全; 而超过 60℃ 则因反应速率过快引发爆聚使反应提前终止。故确定反应温度为 60℃。

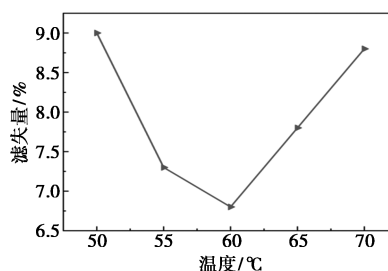


图 4 聚合反应温度优化

2.1.5 引发剂质量分数的优化

固定单体摩尔比 $n(\text{DMAA}) : n(\text{AMPS}) : n(\text{SPE}) : n(\text{APEG-2400}) : n(\text{NVP}) = 100 : 8 : 1 : 1 : 0.5$ 、反应时间为 5 h、反应温度为 60℃、反应 pH 为 8、单体质量分数为 35%, 改变引发剂质量分数合成 DASAN, 并在淡水基浆中加入 1.0% 的 DASAN, 评价其降滤失性能, 结果见图 5。由图 5 可知, 当引发剂添加质量分数为 0.3% 时, 滤失量达到最低值 6.8 mL。加量较少时自由基数量少, 导致反应减缓、聚合度降低、分子质量过小; 过量则因自由基过多使反应过快终止, 分子质量过小, 降滤失效果下降, 故确定引发剂质量分数为 0.3%。

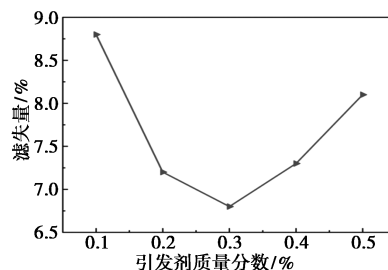


图 5 引发剂质量分数的优化

2.1.6 反应时间的优化

固定单体摩尔比 $n(\text{DMAA}) : n(\text{AMPS}) : n(\text{SPE}) : n(\text{APEG-2400}) : n(\text{NVP}) = 100 : 8 : 1 : 1 : 0.5$ 、引发剂质量分数为 0.3%、反应温度为 60℃、单体质量分数为 35%、反应 pH 为 8, 改变反应时间合成 DASAN,

并在淡水基浆中加入 1.0% 的 DASAN, 考察其降滤失性能, 结果见图 6。由图 6 可知, 随着反应时间增加, 其滤失量不断降低, 当反应时间为 5 h 时, 达到 6.8 mL, 再增加其反应时间, 其滤失降低不明显, 故确定反应时间为 5 h。

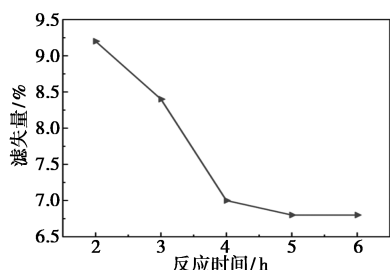


图 6 反应时间优化

2.2 降滤失剂的表征

2.2.1 FT-IR 分析

降滤失剂 DASAN 的 FT-IR 谱图如图 7 所示。从图 7 可知, 在 3460 cm^{-1} 处有宽峰, 这来自于 DMAA 和 AMPS 中的 N—H 伸缩振动; 2930 cm^{-1} 附近的吸收峰是甲基— CH_3 和亚甲基— CH_2 — 中的 C—H 伸缩振动; 在 1635 cm^{-1} 附近的峰与聚合物中的酰胺和酯基结构相关, 是 DMAA、AMPS、NVP 和 SPE 中的 C=O 的伸缩振动; 在 1490 cm^{-1} 附近的峰与聚合物 DMAA、NVP 和 SPE 中 C—N 伸缩振动有关; 在 1190 cm^{-1} 附近的吸收峰是 APEG 中 O—C—O 的伸缩振动; 1040 cm^{-1} 处的峰为磺酸根的特征峰, 625 cm^{-1} 的峰为与磺酸根相连的 C—S 伸缩振动有关。结果表明, 红外光谱图中各个特征峰与聚合物中的关键官能团一致, 由此可知各单体均聚合在 DASAN 上。

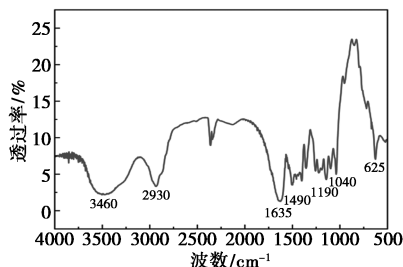


图 7 DASAN 的 FT-IR 谱图

2.2.2 GPC 分析

钻井液泥浆中使用的聚合物处理剂大部分都是高分子聚合物, 分子质量在数百万到几千万之间。聚合物处理剂分子质量过大会导致黏度过大、流变性变差; 分子质量过小, 通常耐温性较差, 且滤失效果差。降滤失剂 DASAN 的 GPC 测试见表 2,

DASAN 数均分子质量 (M_n) 为 612 790, 多分散系数为 2.271 0。说明 DASAN 分子质量合理且具有较宽的分子质量分布, 可有效地提高钻井液黏度和降低滤失量。

表 2 DASAN 的分子质量

分子质量类型	M_n	M_w	M_z	M_{z+1}	M_w/M_n
分子质量	612790	1391672	2322480	3208127	2.2710

2.2.3 热重分析

降滤失剂 DASAN 的热重曲线如图 8 所示。从图 8 中可以看出, 样品在 75.6°C 有 1 个小的质量损失, 由于此时的温度较低, 这是源于聚合物中的易挥发成分或低分子质量组分的挥发或分解。在 279.2°C 和 407.3°C 处观察到主要分解阶段, 这是聚合物中多种官能团导致的不同热分解特性, 在 279.2°C 前降滤失剂未发生明显热分解, 质量分数在 90% 以上, 说明 DASAN 有良好的抗温性能。

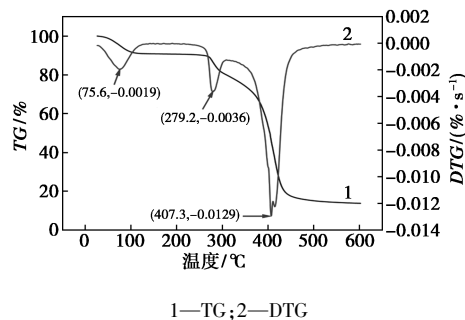


图 8 DASAN 的热重曲线

2.3 降滤失剂的性能评价

2.3.1 降滤失剂质量分数对滤失性和流变性的影响

将不同质量的 DASAN 加入淡水基浆中, 测定在室温条件下淡水基浆中加入 0~2.0% DASAN 后的流变性和滤失量, 结果见表 3。从表 3 中可以看出, 黏度随 DASAN 质量分数的增加而上升, 滤失量则呈下降趋势。当 DASAN 质量分数为 1.5% 时, 滤失量为 6.4 mL, 由于 DASAN 中的酰胺基团、季铵基团、长支链增强了 DASAN 对黏土颗粒吸附能力及

表 3 降滤失剂加量对滤失性和流变性的影响

DASAN 质量分数/%	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	FL _{API} / mL
0	4.5	3.0	1.5	30.2
0.5	8.5	7.0	1.5	10.8
1.0	20.0	15.0	5.1	6.8
1.5	27.5	20.0	7.7	6.4
2.0	35.5	26.0	9.7	6.3

分散程度,从而提升了体系黏度又降低滤失量。当 DASAN 质量分数达 2.0% 时,黏度持续增长但降滤失效果趋于稳定,表明黏度提升并非改善滤失效果的主因。因此选用 DASAN 质量分数为 1.5%。

2.3.2 降滤失剂的抗温能力

在配置好的淡水泥浆中加入 1.5% DASAN,在不同温度下老化 16 h 后,测定其滤失量和流变性,结果见表 4。从表 4 中可以看出,随着温度从室温上升到 200℃,泥浆黏度逐渐下降,滤失量缓慢增加。当老化温度达到 200℃ 时,滤失量为 8.6 mL,说明该 DASAN 拥有优良的抗高温性能。这是因为 DASAN 分子中大量的磺酸基团具有较强的水化能力,且大量的吸附基团使 DASAN 有效地吸附在黏土颗粒上,吡咯烷环在高温下不易降解,在高温下长支链间发生缔合形成网格结构也能减少自由水渗透量,以上功能性官能团共同作用使 DASAN 的降滤失性能在高温下受影响较小。

表 4 老化温度对降滤失性能的影响

老化温度/ ℃	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	FL _{API} / mL
室温	27.5	20.0	7.7	6.4
160	25.0	18.0	7.2	6.5
180	21.0	18.0	3.1	7.2
200	10.5	9.0	1.5	8.6

2.3.3 降滤失剂的耐盐能力

在老化温度为 160℃、老化时间为 16 h 的条件下,将不同质量的 NaCl 加入含有 1.5% DASAN 基浆中,测试不同 NaCl 质量分数的钻井液老化前后的流变性和滤失量,结果见表 5。从表 5 中可以看出,

表 5 降滤失剂耐盐能力

NaCl 质量 分数/%	老化 条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	FL _{API} / mL
5	老化前	18.0	13.0	5.1	5.2
	老化后	14.0	13.0	1.0	6.8
10	老化前	18.0	14.0	4.1	4.7
	老化后	11.5	11.0	0.5	7.0
20	老化前	14.5	12.0	2.6	4.4
	老化后	8.5	8.0	0.5	7.3
25	老化前	14.0	11.0	3.1	4.1
	老化后	6.5	6.0	0.5	8.5
30	老化前	10.0	8.0	2.0	3.8
	老化后	6.0	5.0	1.0	11.0
36	老化前	8.5	8.0	0.5	3.7
	老化后	6.0	5.0	1.0	17.5

随着盐质量分数的增加,老化前钻井液表观黏度和滤失量都呈现缓慢下降的趋势,饱和盐时滤失量为 3.7 mL,这是由于 DASAN 分子中大量的功能性基团对电解质不敏感;同时长支链形成的网状结构降低了盐对黏土颗粒的影响。160℃ 老化后表观黏度相比老化前微降,滤失量呈上升趋势,当达到饱和盐时滤失量为 17.5 mL,其可以满足实际应用需求。说明该降滤失剂 DASAN 具有良好的耐盐能力。

2.3.4 降滤失剂的耐钙能力

在老化温度为 160℃、老化时间为 16 h 的条件下,将不同质量的 CaCl₂ 加入含有 1.5% DASAN 基浆中,测试不同 CaCl₂ 质量分数的钻井液老化前后的流变性和滤失量,结果见表 6。从表 6 中可以看出,老化前后随着钙质量分数的增加黏度下降,滤失量逐渐增加,这是由于钙对黏土颗粒的压缩效应高于钠。老化前 CaCl₂ 质量分数为 1.0% 时,滤失量为 7.3 mL;160℃ 老化后当 CaCl₂ 质量分数达 1.0% 时,滤失量为 15.6 mL,滤失量仍然能达到较低的值。说明该降滤失剂 DASAN 有较好的耐钙能力。

表 6 降滤失剂的耐钙能力

CaCl ₂ 质量分数/%	老化 条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	FL _{API} / mL
0.2	老化前	30.0	22.0	8.2	6.2
	老化后	16.0	13.0	3.1	6.3
0.4	老化前	24.5	16.0	8.7	6.6
	老化后	9.0	8.0	1.0	6.1
0.6	老化前	24.0	16.0	8.1	6.9
	老化后	8.5	7.0	1.5	9.5
0.8	老化前	23.5	16.0	7.7	7.2
	老化后	8.5	7.0	1.5	12.4
1.0	老化前	22.5	15.0	7.7	7.3
	老化后	8.0	7.0	1.0	15.6

2.3.5 降滤失剂耐复合盐能力

复杂地层中通常是多种盐共存,在老化温度为 160℃、老化时间为 16 h 的条件下,将一定质量的 NaCl、KCl、CaCl₂ 和 MgCl₂ 加入含有 1.5% DASAN 基浆中,测试钻井液老化前后的流变性和滤失量,结果见表 7。从表 7 中可以看出,钻井液体系在 5% NaCl+0.1% CaCl₂+5% KCl+0.1% MgCl₂ 质量分数下老化前后滤失量分别为 4.9 mL 和 5.3 mL,在 NaCl 和 KCl 质量分数提升到 10% 时,老化前黏度轻微下降,滤失量不变,160℃ 老化后滤失量上升到

8.1 mL。说明该 DASAN 有较好的耐复合盐能力。

表 7 降滤失剂的耐复合盐能力

复合盐加量	老化条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	FL _{API} / mL
5% NaCl+0.1% CaCl ₂ + 5% KCl+0.1% MgCl ₂	老化前	18.5	14.0	4.6	4.9
	老化后	7.5	7.0	0.5	5.3
10% NaCl+0.1% CaCl ₂ + 10% KCl+0.1% MgCl ₂	老化前	15.5	12.0	3.6	4.9
	老化后	8.5	8.0	0.5	8.1

2.4 降滤失剂降滤失机理研究

2.4.1 微观形貌分析

在淡水基浆和饱和盐水基浆中分别加入 1.5% DASAN 后测定其 API 滤失量,30 min 后取下滤饼,自然风干后通过扫描电子显微镜观察滤饼的微观形貌,结果如图 9 所示。从图 9(a)中可以看出,淡水基浆滤饼表面存在明显大颗粒且凹凸不平;从图 9(b)中可以看出,添加 DASAN 后黏土表面形成水化膜,淡水滤饼变得致密光滑,无明显大颗粒堆积。从图 9(c)中可以看出,饱和盐水环境中黏土颗粒因电解质作用使滤饼产生大量结块堆集和裂缝;从图 9(d)中可以看出,加入 DASAN 饱和盐水滤饼仍出现大颗粒,但是 DASAN 有较好的吸附能力,将颗粒紧密联结在一起,未出现大量的裂缝和孔洞。实验表明 DASAN 显著提升了淡水和饱和盐水泥浆的滤饼质量。

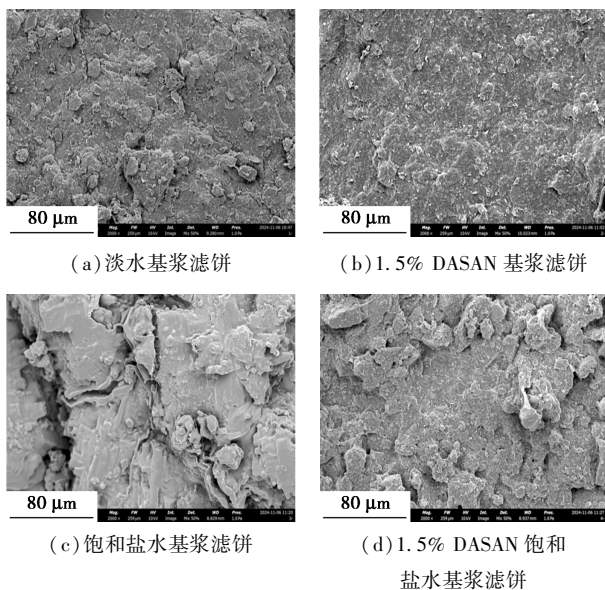
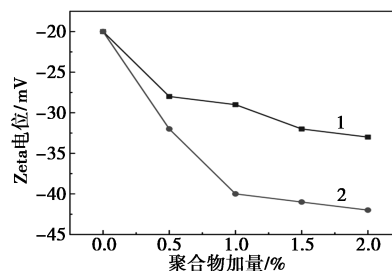


图 9 不同钻井液滤饼的 SEM 图

2.4.2 降滤失剂对黏土 Zeta 电位影响

测定了 0~2.0% DASAN 质量分数的淡水基浆 200℃ 老化前后的 Zeta 电位,结果如图 10 所示。由

图 10 可知,加入 DASAN 后 Zeta 电位的绝对值从 20 mV 提高到 33 mV,说明降滤失剂中的官能团有效地吸附在黏土颗粒上,增强了泥浆的静电稳定性;200℃ 老化 16 h 后 Zeta 电位绝对值大幅度增大,因为高温作用下,DASAN 能更好地渗透到黏土颗粒内部,说明该降滤失剂在高温下能有效提高钻井液体系的稳定性和分散性。



1—老化前;2—老化后

图 10 降滤失剂对黏土 Zeta 电位的影响

2.4.3 降滤失剂对黏土颗粒粒径的影响

通过激光粒度分析仪测定淡水基浆加入不同处理剂老化前后粒径分布,结果见表 8。由表 8 可知,加入 DASAN 后的淡水基浆老化前后中值粒径分别从 3.382、4.167 μm 下降至 2.418、2.380 μm,在盐水基浆中加入 DASAN 后,其中值粒径依然小于淡水基浆的中值粒径。黏土颗粒的减小能使其有效地填充滤饼中的空隙,从而降低滤饼渗透率,说明 DASAN 在高温和盐环境中对黏土颗粒有较好的吸附效果,有效降低了黏土颗粒的大小,使其在具有良好的抗高温、耐盐能力。

表 8 淡水基浆加入不同处理剂老化前后粒径分布

处理剂	老化条件	D(0.1)/ μm	D(0.5)/ μm	D(0.9)/ μm
无	老化前	0.621	3.382	12.652
	老化后	0.688	4.617	17.418
1.5% DASAN	老化前	0.594	2.418	6.482
	老化后	0.574	2.380	5.292
15% NaCl+1.5% DASAN	老化前	0.615	2.688	6.280
	老化后	0.640	2.637	13.847

3 结论

(1) 以 DMAA、AMPS、SPE、APEG-2400、NVP 为单体,V50 为引发剂进行自由基聚合反应,合成了一种抗温耐盐的钻井液降滤失剂 DASAN,并确定了其聚合条件为:n(DMAA):n(AMPS):n(SPE):

$n(\text{APEG-2400}) : n(\text{NVP}) = 100 : 8 : 1 : 1 : 0.5$ 、反应 pH 为 8、单体质量分数为 35%、反应温度为 60℃、反应时间为 5 h、引发剂质量分数为 0.3%、反应时间 5 h。

(2) 通过 FT-IR 结构表征得到了目标产物, GPC 测得数均分子质量为 6×10^5 , 分子质量大小合适, 同时热重分析表明降滤失剂 DASAN 有较好的热稳定性。

(3) DASAN 质量分数为 1.5%, 200℃ 老化后, API 滤失量为 8.6 mL。NaCl 质量分数为 36% 时, 160℃ 老化前后滤失量分别为 3.7 mL 和 17.5 mL; CaCl_2 质量分数为 1.0% 时, 160℃ 老化前后滤失量为 7.3 mL 和 15.6 mL。在 10% NaCl、10% KCl、0.1% CaCl_2 和 0.1% MgCl_2 复合盐水浆中 160℃ 老化前后滤失量为 4.9 mL 和 8.1 mL。

(4) 通过对钻井液滤饼 Zeta 电位、钻井液粒度分析表明, DASAN 能有效地提高滤饼质量, 增强静电稳定性和降低黏土颗粒大小, 使其具有优良的抗温、耐盐能力。

参考文献

- [1] 邓雪菲, 吕开河, 黎剑, 等. 超深井钻井液用聚合物降滤失剂研究现状及发展趋势[J/OL]. 化工进展, 2025. DOI: 10.16085/j.issn.1000-6613.2024-0559.
- [2] 何立成, 唐波. 准噶尔盆地超深井钻井技术现状与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2022, 50(5): 1-8.
- [3] 张金辉, 李浩然, 杨双春, 等. 新型耐高温降滤失剂的研究和应用现状[J]. 应用化工, 2020, 49(10): 2625-2629.
- [4] Liu L M, Sun J S, Wang R, *et al.* Synthesis of a new high tempera-

ture and salt resistant zwitterionic filtrate reducer and its application in water-based drilling fluid[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2022, 651: 129730.

- [5] Lin Z W, Li F, Liu X Y, *et al.* Synthesis of a network-structured polymer with low viscosity effect and its use as filtrate reducer for water-based drilling fluids[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2023, 140(43): e54581.
- [6] Liu X X, Rao P H, Xiao W F, *et al.* Synthesis and performance of fluid loss agents based on different acrylamide monomers (Article) [J]. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 2015, 5(4): 409-415.
- [7] 马喜平, 朱忠祥, 侯代勇, 等. 抗高温抑制型钻井液降滤失剂的合成与评价[J]. 现代化工, 2016, 36(2): 117-121.
- [8] 李东, 王翟, 赵英杰, 等. 高温高盐钻井液用降滤失剂的合成与性能评价[J]. 现代化工, 2021, 41(8): 187-192.
- [9] 常晓峰. 一种具有“盐响应”特性的两性离子聚合物增黏降滤失剂[J]. 天然气工业, 2024, 44(5): 118-126.
- [10] 屈沅沅, 林凌, 孙金声, 等. 一种甜菜碱型聚合物降滤失剂及其制备方法: CN 114716607A [P]. 2022-07-08.
- [11] 张蒙. 甜菜碱型共聚物降滤失剂 PADAN 的合成及性能研究 [D]. 成都: 西南石油大学, 2019.
- [12] 马喜平, 朱忠祥, 石伟, 等. 一种甜菜碱型共聚物作钻井液降滤失剂的合成方法: CN 106366243A [P]. 2017-02-01.
- [13] 吴艳婷, 全红平, 黄志宇, 等. 抗高温钻井液降滤失剂的合成及机理研究[J]. 石油化工, 2023, 52(7): 946-955.
- [14] 邢林庄, 袁玥辉, 叶成, 等. 抗高温抗复合盐支链型聚合物降滤失剂的合成及其性能[J]. 钻井液与完井液, 2023, 40(6): 703-710.
- [15] 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.
- [16] 全红平, 张拓森, 黄志宇, 等. 抗高温耐盐钻井液降滤失剂的合成与评价[J]. 应用化工, 2022, 51(6): 1691-1696, 1701. ■

(上接第 150 页)

- [19] Wang Y, Wang X, Antonietti M. Polymeric graphitic carbon nitride as a heterogeneous organocatalyst: From photochemistry to multipurpose catalysis to sustainable chemistry[J]. Angewandte Chemie International Edition, 2012, 51(1): 68-89.
- [20] Wen J, Xie J, Chen X, *et al.* A review on g-C₃N₄-based photocatalysts[J]. Applied Surface Science, 2017, 391: 72-123.
- [21] Sorokin A B. Phthalocyanine metal complexes in catalysis [J]. Chemical Reviews, 2013, 113(10): 8152-8191.
- [22] Zhang X, Wu Z, Zhang X, *et al.* Highly selective and active CO₂ reduction electrocatalysts based on cobalt phthalocyanine/carbon nanotube hybrid structures [J]. Nature communications, 2017, 8(1): 14675.
- [23] Cong X, Li A, Guo F, *et al.* Construction of CdS@g-C₃N₄ heterojunction photocatalyst for highly efficient degradation of gaseous toluene[J]. Science of the Total Environment, 2024, 913: 169777.
- [24] Li P, Hou C, Zhang X, *et al.* Ethylenediamine-functionalized CdS/

tetra (4-carboxyphenyl) porphyrin iron (III) chloride hybrid system for enhanced CO₂ photoreduction[J]. Applied Surface Science, 2018, 459: 292-299.

- [25] Wang Q, Shi Y, Pu L, *et al.* Fabrication of the carnation-like CCN-CuS p-n heterojunctions with enhanced photocatalytic performance under visible light irradiation[J]. Applied Surface Science, 2016, 367: 109-117.
- [26] Xia Z, Wang X, Liu K, *et al.* Preparation and photocatalytic properties of WSe₂/BiVO₄ pn heterojunction photocatalytic materials[J]. Catalysis Communications, 2024, 187: 106857.
- [27] Yuan A, Lei H, Wang Z, *et al.* Improved photocatalytic performance for selective oxidation of amines to imines on graphitic carbon nitride/bismuth tungstate heterojunctions [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2020, 560: 40-49.
- [28] Zhang B, Hu X, Liu E, *et al.* Novel S-scheme 2D/2D BiOBr/g-C₃N₄ heterojunctions with enhanced photocatalytic activity[J]. Chinese Journal of Catalysis, 2021, 42(9): 1519-1529. ■