

四元共聚抗高温耐盐粉体降失水剂的制备及性能研究

李壮壮¹, 杨振声^{1*}, 王亚茹¹, 石娜娜¹, 陈龙², 关琳¹

(1. 沈阳工业大学石油化工学院, 辽宁 辽阳 111003; 2. 天津大学理学院, 天津 300350)

摘要:以2-丙烯酰胺-2-甲基丙磺酸 (AMPS)、*N,N*-二甲基丙烯酰胺 (DMAA)、马来酸酐 (MA) 和甲基丙烯磺酸钠 (SMAS) 等为原料, 采用反相乳液聚合并引入非离子型乳化剂异构十三醇聚氧乙烯醚和司班 80 合成了一种抗高温耐盐四元共聚物粉体降失水剂 ADMS。利用 FT-IR、NMR、TG 和 GPC 对共聚物的结构和热稳定性进行表征, 并对 ADMS 进行了性能评价。结果表明, 4 种功能单体均参与了反应, ADMS 的重均分子质量达 448 198, 耐温可达 320°C; ADMS 抗温能力良好, 使用温度在 30~200°C; 200°C 时, 添加 3% ADMS 的淡水基水泥浆失水量为 48 mL; ADMS 抗盐能力良好, 在半饱和盐水和饱和盐水基水泥浆中分别添加 4% 和 5% 的 ADMS 可控制失水量在 50 mL 以内; ADMS 对水泥浆稠化时间、水泥石抗压强度等无不利影响。

关键词: 固井; 反相乳液聚合; 抗高温; 耐盐; 粉体; 降失水剂

中图分类号: TE256.6

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2024)06-0191-07

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.06.037

Preparation and performance study of quaternary copolymer-based powder fluid loss reducer with high temperature and salt resistances

LI Zhuang-zhuang¹, YANG Zhen-sheng^{1*}, WANG Ya-ru¹, SHI Na-na¹, CHEN Long², GUAN Lin¹

(1. School of Petrochemical Engineering, Shenyang University of Technology, Liaoyang 111003, China;

2. School of Science, Tianjin University, Tianjin 300350, China)

Abstract: Using 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid (AMPS), *N,N*-dimethylacrylamide (DMAA), maleic anhydride (MA) and sodium methacrylsulfonate (SMAS) as raw materials, ADMS, a high-temperature and salt resistant quaternary copolymer powder fluid loss agent, is synthesized through inverse emulsion polymerization method by adding non-ionic emulsifiers including iso-tridecanol polyoxyethylene ether and span 80. The structure and thermal stability of the copolymer are characterized by means of FT-IR, NMR, TG and GPC, and the performance of ADMS is evaluated. It is indicated by the results that all four kinds of functional monomers involve in the reaction. The weight average molecular weight of ADMS reaches 448 198. ADMS can stand by high temperature as high as 320°C, and can be used in 30-200°C. At 200°C, the water loss of fresh water-based cement slurry with 3% ADMS is 48 mL. ADMS exhibits a good salt resistance. The water loss can be controlled within 50 mL by adding 4% and 5% ADMS to semi-saturated salt water and saturated salt water based cement slurry, respectively. ADMS has no adverse effect on the thickening time of cement slurry and the compressive strength of cement stone.

Key words: well cementing; inverse emulsion polymerization; high temperature resistance; salt resistance; powder; fluid loss reducer

随着浅层油气资源的枯竭, 深层、超深层和深海油气藏的开发逐渐成为热点^[1-2]。降失水剂作为一种重要的水泥添加剂, 对控制水泥浆液相的滤失以及固井安全起到了关键作用。颗粒类降失水剂在高温、盐水条件下稳定性较差^[3-4]; 天然高分子类降失水剂在高温下易降解, 并且存在缓凝副作用^[5-6]; 而以 2-丙烯酰胺基 2-甲基丙磺酸 (AMPS) 为主要单体的高分子类降失水剂因其优异的抗高温、抗盐性能成为近几年的研究重点^[7-8]。但在深井、超深井以及深海等高温复杂固井环境中, AMPS 类降失水

剂存在水泥浆黏度增大、分子链断裂解吸等现象, 不利于固井安全以及油气资源的开采作业^[9]。

鉴于此, 笔者从分子设计角度出发, 优选了具有特殊功能基团的 4 种单体: 含有抗高温的磺酸基团 (AMPS); 含有具有吸附和水化功能的酰胺基团 *N,N*-二甲基丙烯酰胺 (DMAA); 具有优异吸附能力和分散能力的羧酸基团马来酸酐 (MA); 磺酸基团连接在单体的主链上的甲基丙烯磺酸钠 (SMAS)。优选了乳化剂异构十三醇聚氧乙烯醚与司班 80 复配^[10-15], 通过调节适合的 *HLB* 值, 提高了乳液稳定性。

收稿日期: 2023-08-30; 修回日期: 2024-03-29

作者简介: 李壮壮 (1996-), 男, 硕士生, 研究方向为粉体降失水剂的合成及应用研究, 183211089@qq.com; 杨振声 (1985-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为环氧乙烷下游精细化工产品, 通讯联系人, 1044945@qq.com。

1 实验部分

1.1 实验药品与仪器

2-丙烯酸酰胺-2-甲基丙磺酸 (AMPS)、司班 80, 上海麦克林生化科技股份有限公司生产; *N,N*-二甲基丙烯酰胺 (DMAA), 上海阿达玛斯试剂有限公司生产; 马来酸酐 (MA)、过硫酸铵, 天津市致远化学试剂有限公司生产; 甲基丙磺酸钠 (SMAS), 上海易恩化学技术有限公司生产; 异构十三醇聚氧乙醚, 万华化学集团股份有限公司生产; 嘉华 G 级水泥, 嘉华特种水泥股份有限公司生产; 所有试剂均为分析纯。

Bruker Avance Neo 600 型核磁共振波谱仪, 瑞士 Bruker 公司生产; HCT-4 型热重分析仪, 北京恒久实验设备有限公司生产; PL-GPC50 型凝胶渗透色谱仪, 美国安捷伦科技公司生产; TG-8040B 型高温高压稠化仪, 沈阳泰格石油设备公司生产; TG-71 型高温高压失水仪, 沈阳泰格石油设备公司生产; TOC-VCPH 型总有机碳分析仪, 日本岛津生产。

1.2 粉体降失水剂的合成

水相制备: 将 AMPS、DMAA、MA 和 SMAS 按照质量比 80:20:3:0.1 溶解于蒸馏水中, 然后转移到烧瓶中, 用 NaOH 或稀盐酸调节溶液 pH 至 7, 加入乳化剂异构十三醇聚氧乙醚, 搅拌均匀得到水相。

油相制备: 按照油水比 1:1 称取环己烷, 将环己烷转移到烧瓶中, 将乳化剂司班 80 加入烧瓶中, 搅拌均匀得到油相。

反向乳液聚合: 将水相缓慢地滴加到油相, 搅拌速度为 900 r/min, 滴加结束继续机械搅拌 40 min, 通入氮气, 当水浴温度达到 70℃ 后, 用恒压分液漏斗向体系中缓慢滴加引发剂 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, 同时设定机械搅拌速度为 400 r/min, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 滴加结束后继续反应 3 h, 经提纯干燥可得粉体颗粒状降失水剂, 粉体降失水剂的合成路线如图 1 所示。

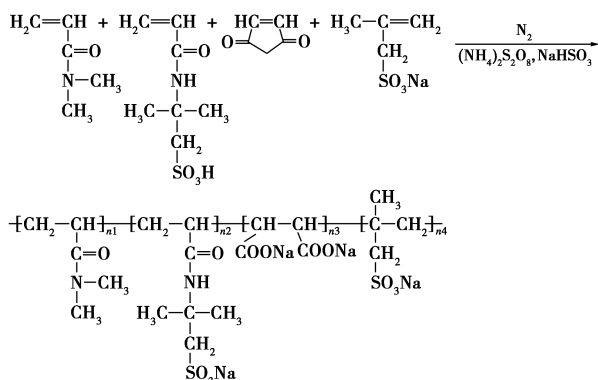


图 1 粉体降失水剂的合成路线

1.3 粉体降失水剂的表征

利用红外光谱仪 (KBr 压片法) 测定产物的特征吸收峰, 扫描范围 $500 \sim 4\,000 \text{ cm}^{-1}$ 。将降失水剂样品粉末溶解在溶剂 D_2O 中, 用核磁共振仪测定其 ^1H 谱。用核磁共振仪对产物的 ^{13}C 谱进行测定。利用热重分析仪对产物的热稳定性进行测定, 升温范围 $20 \sim 600^\circ\text{C}$ 。利用凝胶色谱仪对产物的分子质量和分子质量分布进行测定。

1.4 粉体降失水剂的性能测试

按照 SY/T 5504.2—2013《油井水泥外加剂评价方法第 2 部分: 降失水剂》和 GB/T 19139—2012《油井水泥实验方法》中所述方法进行水泥浆性能测试。利用总有机碳分析仪测定 ADMS 在水泥颗粒表面上吸附性能。水泥配方: G 级水泥+硅粉 (温度超过 110°C 时加入)+微硅+缓凝剂+分散剂降失水剂+消泡剂+44%淡水, 水灰比为 0.44。

2 结果与讨论

2.1 粉体降失水剂的合成实验

2.1.1 反应最佳单体配比的确定

为了探究降失水剂的最佳单体配比, 以失水量为参考标准, 通过改变单体配比设计了 6 组实验。实验条件为: 单体质量分数为 30%、引发剂质量为单体质量的 0.8%、聚合温度为 75°C 、反应时间为 3 h、乳化剂质量占乳液质量的 8%、油水比为 1:1、HLB 值为 8、搅拌速度为 400 r/min、失水测试温度为 120°C 、降失水剂添加质量分数为 3%, 不同单体配比对应的失水量如表 1 所示。

表 1 不同单体配比下水泥浆失水量

编号	单体质量比				滤失量/ mL
	AMPS	DMAA	MA	SMAS	
1	150	10	2	0.1	78
2	100	20	2	0.1	62
3	80	20	2	0.1	35
4	80	30	2	0.1	42
5	80	20	3	0.1	32
6	80	20	4	0.1	38

由表 1 可知, 继续增加 MA 的质量分数不利于水泥浆失水量的控制。MA 的质量分数过高会导致降失水剂中的 $-\text{COO}^-$ 含量过高, $-\text{COO}^-$ 会与水泥浆中的 Ca^{2+} 、 Al^{3+} 等金属阳离子结合, 导致水泥浆的稠度变大, 不利于固井作业^[16]。因此结合水泥浆的

失水量以及水泥浆的综合性能,确定单体的最佳质量比为 80:20:3:0.1。

2.1.2 反应最佳油水比的确定

在最佳单体质量比的基础上,保持其他条件不变,探究油水比对水泥浆失水量的影响,结果如图 2 所示。

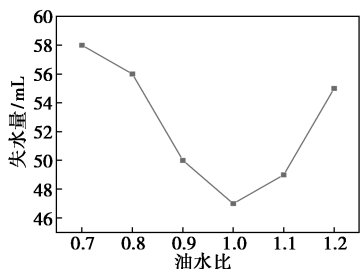


图 2 油水比对失水量的影响

从图 2 中可以看出,失水量随着油水比的增加先降低后增加,这是由于当油水比较小时,乳液稳定性较差,产物分子质量较小,不利于失水量的控制。当油水比较大时,油相含量较高,使水相中单体质量分数减少,聚合物链增长速度慢,反应效率低,产物相对分子质量低,同样不利于失水量的控制。当油水比为 1 时,水泥浆失水量最低为 46 mL,由此可知,反应最佳油水比为 1。

2.1.3 反应最佳 HLB 值的确定

在最佳单体质量比和油水比的基础上,保持其他条件不变,探究了 HLB 值对水泥浆失水量的影响,结果如图 3 所示。

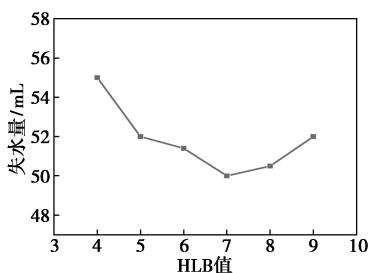


图 3 HLB 值对失水量的影响

由图 3 可知,随着 HLB 值的增加,水泥浆的失水量先降低后升高,这是由于 HLB 值过大或过小都会导致乳液稳定性较差,反应过程中会产生凝胶,不利于分子质量的生长,导致水泥浆的失水量增加。当 HLB 值为 7 时,水泥浆的失水量最小,由此可知,最佳 HLB 值为 7。

2.1.4 反应最佳乳化剂质量分数的确定

在最佳单体质量比、最佳油水比、最佳 HLB 值的基础上,保持其他条件不变,探究了乳化剂质量分

数对水泥浆失水量的影响,结果如图 4 所示。

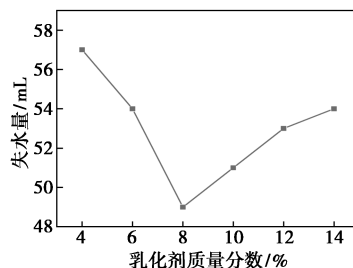


图 4 乳化剂质量分数对失水量的影响

由图 4 可知,失水量随着乳化剂质量分数的增加先降低后增加。随着乳化剂质量分数的增加,吸附在液滴表面的乳化剂增加并趋于饱和,在乳化剂的空间位阻以及外力的作用下,液滴被分散成较小的胶乳粒,并具有较高的稳定性,但乳化剂质量分数过高,将导致胶乳粒径过小,单体转化率降低。由此可知,最佳乳化剂质量分数为 8%。

2.1.5 合成条件优化

通过单因素法确定了最佳油水比为 1:1、最佳反应 HLB 值为 8、最佳乳化剂质量为乳液质量的 8%。为了进一步探究反应条件对水泥浆失水量的影响,设计了 5 因素 4 水平的正交实验,以水泥浆失水量为性能指标,对 ADMS 的最佳合成条件进行优化。正交试验相关的因素如表 2 所示,实验结果如表 3 所示。

表 2 正交实验因素与水平表

编号	引发剂 质量分数/%	单体 质量分数/%	反应 时间/h	温度/ ℃	搅拌速度/ ($r \cdot \min^{-1}$)
1	0.4	25	3	40	350
2	0.6	30	4	50	400
3	0.8	35	5	60	450
4	1.0	40	6	70	500

表 3 正交实验结果

因素	引发剂 质量分数/ %	单体 质量分数/ %	反应 时间/ h	温度/ ℃	搅拌 速度/ ($r \cdot \min^{-1}$)	FL_{API} / mL
1	1	1	1	1	1	68.2
2	1	2	2	2	2	62.5
3	1	3	3	3	3	41.9
4	1	4	4	4	4	57.2
5	2	1	2	3	4	52.8
6	2	2	1	4	3	92.8
7	2	3	4	1	2	34.7

续表

因素	引发剂 质量分数/ %	单体 质量分数/ %	反应 时间/ h	温度/ ℃	搅拌 速度/ (r·min ⁻¹)	FL _{API} / mL
8	2	4	3	2	1	39.5
9	3	1	3	4	2	63.1
10	3	2	4	3	1	71.1
11	3	3	1	2	4	58.2
12	3	4	2	1	3	46.7
13	4	1	4	2	3	61.1
14	4	2	3	1	4	56.3
15	4	3	2	4	1	51.6
16	4	4	1	3	2	43.2
K1	57.450	61.300	65.600	51.475	57.600	
K2	54.950	70.675	53.400	55.325	50.875	
K3	59.775	46.600	50.200	52.250	60.625	
K4	53.050	46.650	56.025	66.175	56.125	
R	6.725	24.075	15.400	14.700	9.750	

从表 3 中可以看出,各因素对降失水剂失水效果影响程度为单体质量分数>反应时间>温度>搅拌速度>引发剂质量分数。最佳反应条件为引发剂质量分数为 0.8%、单体质量分数为 30%、反应时间为 3 h、反应温度为 70℃、搅拌速度为 450 r/min。

2.2 粉体降失水剂的表征

2.2.1 红外光谱表征

ADMS 的红外光谱图如图 5 所示。从图 5 可知, 3 436 cm⁻¹为 AMPS 的—CONH—上 N—H 的特征吸收峰^[17]; 2 929 cm⁻¹为甲基的吸收峰; 2 977 cm⁻¹是主链—CH₂—的特征吸收峰^[18]; 1 652 cm⁻¹是 DMAA 与 AMPS 中—CONH—上 C=O 的特征吸收峰; 1 540 cm⁻¹处为 MA 中羧酸根上—C=O—的对称吸收峰, 1 406 cm⁻¹为 MA 中羧酸根上—C=O—的反对称吸收峰^[19]; 1 452 cm⁻¹为 C—N 的伸缩振动峰; 1 186、1 042 cm⁻¹和 620 cm⁻¹为 AMPS 和 SMAS 中

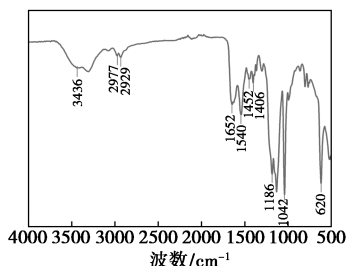


图 5 ADMS 的红外光谱图

—SO₃—的吸收峰^[20];而在 1 620~1 645 cm⁻¹之间没有出现不饱和单体中—C=C—的伸缩振动峰,说明单体全部参与了反应^[21]。综上可知,该聚合物聚合成功。

2.2.2 ¹HNMR 表征

ADMS 的 ¹HNMR 谱图如图 6 所示。从图 6 中可以看出,δ=1.10 ppm 是 SMAS 中甲基的质子峰; δ=1.44 ppm 是 AMPS 中甲基的质子峰; δ=1.63 ppm 是分子链上亚甲基的质子峰; δ=2.03 ppm 是 AMPS、DMAA 中—CH—基团的质子峰; δ=2.87 ppm 分别是 DMAA 基团中—CH₃ 的质子峰; δ=3.04 ppm 是 SMAS 中亚甲基的质子峰; δ=3.18 ppm 是马来酸酐中—CH—的质子峰; δ=3.32 ppm 是 AMPS 中—CH₂—的质子峰; δ=7.59 ppm 是 AMPS 中 N—H 的质子峰^[22]。

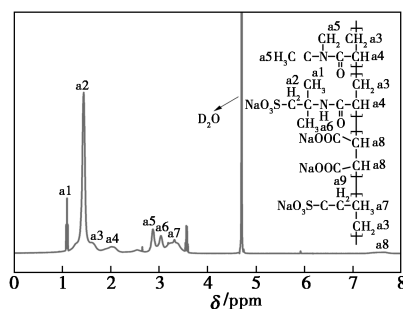


图 6 ADMS 的 ¹HNMR 谱图

2.2.3 ¹³CNMR 表征

DMS 的 ¹³CNMR 谱图如图 7 所示。从图 7 中可以看出,δ=24.84 ppm 是主链中亚甲基的特征峰; δ=26.30 ppm 是 AMPS 甲基的特征峰; δ=29.43 ppm 是 DMAA 甲基的特征峰; δ=52.26 ppm 是 MA 中次甲基的特征峰; δ=57.58 ppm 是 SMAS 中亚甲基的特征峰。未发现碳碳双键的特征峰,表明全部单体均参与了聚合。

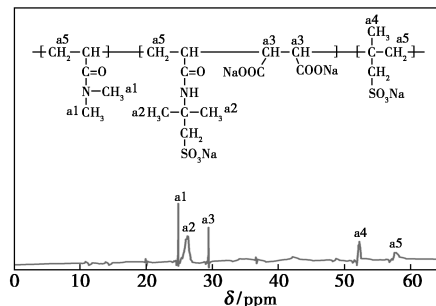


图 7 ADMS 的 ¹³CNMR 谱图

2.2.4 热失重分析

ADMS 的 TG-DTG 图如图 8 所示。由图 8 可

知,ADMS在341.8℃时出现最大分解放热峰。30~134℃样品失重约8%,这是由于聚合物所含结晶水的挥发或者小分子ADMS的分解所导致^[23];134~320℃样品失重约4%,这是分子链上部分酰胺基团分解导致的;320~353℃失重约35%,这是由于分子链中大部分的酰胺基、磺酸基分解所致;353~420℃样品失重约10%,这是由于分子链中的C—C键断裂所致^[24];420~600℃为分子链碳化的过程,ADMS最终剩余质量分数约43%。由此可知,ADMS在320℃以下具有良好的抗高温能力。

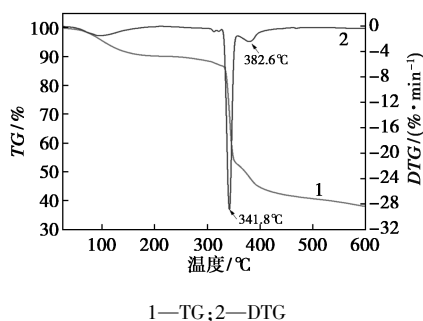


图8 ADMS的TG-DTG曲线

2.2.5 凝胶渗透色谱分析

利用凝胶渗透色谱仪对ADMS的分子质量和分子质量分布进行分析,结果如表4所示。

表4 降失水剂分子质量及其分布表

降失水剂	数均分子质量	重均分子质量	分子质量分布
ADMS	95717	448198	4.6825

从表4可知,ADMS的分子质量分布较宽,并且具有较高的分子质量。适中的分子质量有利于降失水剂吸附在水泥颗粒上,有利于降失水剂的控失水能力。如果共聚物的分子质量太小,则分子链短,共聚物含有的吸附基团较少,则不利于控失水。因此,ADMS具有适中的分子质量,有利于提高水泥浆控失水能力。

2.3 粉体降失水剂性能评价

2.3.1 控失水性能

在实验温度为120℃下测试了添加不同质量分数的降失水剂ADMS时水泥浆的失水量,结果如图9所示。

从图9中可以看出,在一定范围内提高水泥浆中ADMS的质量分数可以显著降低失水量。当ADMS质量分数为2%时,水泥浆失水量为81.4 mL。进一步增加降失水剂的质量分数至3%,失水量降至47 mL,满足固井尾管的水泥浆失水量不超过

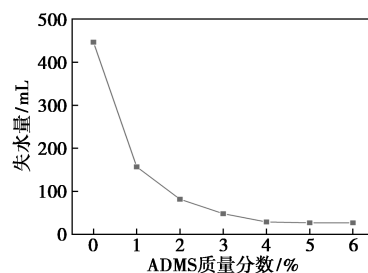
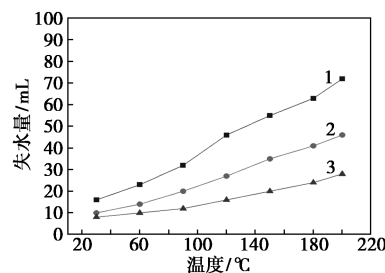


图9 降失水剂ADMS质量分数对水泥浆失水量的影响

50 mL的固井要求。

2.3.2 抗高温性能

抗高温性能是降失水剂的重要应用指标,通过实验测试了降失水剂在不同温度下的失水量,结果如图10所示。



1—3%降失水剂;2—4%降失水剂;3—5%降失水剂

图10 不同温度下ADMS质量分数对水泥浆失水量的影响

由图10可知,200℃时,添加3%降失水剂的水泥浆失水量为72 mL,添加4%降失水剂的水泥浆失水量为46 mL,添加5%降失水剂的水泥浆失水量为28 mL,表明降失水剂ADMS具有良好的抗高温能力。

2.3.3 抗盐性能

为了测试降失水剂ADMS的抗盐能力,分别将18%和36%的NaCl溶液添加到水泥中,在200℃条件下测试了ADMS在不同添加质量分数下的抗盐能力,结果如表5所示。

表5 不同NaCl质量分数下水泥浆的失水量

降失水剂质量分数/ %	18% NaCl 失水量/ mL	36% NaCl 失水量/ mL
1	185	261
2	95	121
3	57	74
4	35	60
5	32	43
6	29	42

从表 5 中可以看出,向半饱和盐水和饱和盐水水泥浆中分别添加 4% 和 5% 的 ADMS 就可以控制失水量在 50 mL 以内,满足固井尾管的水泥浆失水量不超过 50 mL 的固井施工要求。结果表明 ADMS 具有良好的抗盐性能。良好的抗盐能力主要是由于 ADMS 中引入了的磺酸根,使其对金属阳离子进攻不敏感,进而提高了抗盐能力。

2.3.4 对稠化时间的影响

降失水剂的加入会导致水泥浆的缓凝,不利于固井安全。通过实验考察了 ADMS 在 120℃ 条件下的稠化时间,结果如表 6 所示。

表 6 降失水剂加量对稠化时间的影响

降失水剂质量分数/%	添加 ADMS 的稠化时间/min	添加 ADMS+0.2% 缓凝剂的稠化时间/min
1	98	117
2	97	121
3	105	125
4	109	146
5	121	160
6	143	172

由表 6 可知,在 120℃ 高温条件下,增加水泥浆中降失水剂 ADMS 的质量分数,稠化时间有小幅度的延长,表明羧酸根在提高降失水剂吸附能力的同时,降失水剂分子大量吸附在水泥颗粒表面,使得水泥颗粒因带有阴电荷而相互分散,使得降失水剂具有一定的分散能力,进而导致稠化时间延长。实验结果表明,向水泥浆加入 0.2% 的缓凝剂可以显著延长稠化时间,表明 ADMS 对水泥浆稠化时间影响较小,并且稠化时间可以调整。

2.3.5 水泥石抗压强度

在 90℃ 条件下测试了水泥浆在常压下的水泥石抗压强度,结果如表 7 所示。

表 7 ADMS 对水泥石抗压强度的影响

时间/d	纯水泥浆抗压强度/MPa	3% ADMS 水泥浆抗压强度/MPa
1	25.8	24.7
2	27.6	28.8
3	34.5	36.2
4	40.1	42.5
5	41.0	45.3
7	41.3	48.5

由表 7 中可以看出,添加 3% ADMS 的水泥浆的 24 h 水泥石抗压强度略低于纯水泥浆的 24 h 水泥石抗压强度。随着水化时间的增加,添加降失水剂的水泥石抗压强度相较于空白组的纯水泥石抗压强度有小幅提高,7 d 水泥石抗压强度达到了 48.5 MPa。实验结果表明,向水泥浆中加入 ADMS 后,对水泥浆凝固后水泥石的抗压强度有一定的增强作用,没有导致最终水泥石抗压强度的下降。

2.3.6 ADMS 在水泥滤饼处的吸附量测试

利用总有机碳分析仪检测了水泥滤饼处 ADMS 的吸附量,结果如图 11 所示。

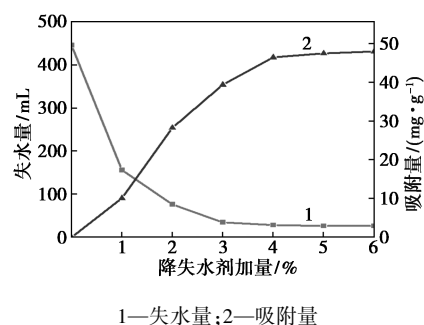


图 11 ADMS 在水泥颗粒表面的吸附量

由图 11 可知,降失水剂的吸附量与失水量成负相关,吸附量越高,失水量越小,当吸附量达到饱和,水泥浆失水量也趋于稳定,表明降失水剂 ADMS 通过羧酸根、磺酸根和酰胺基的络合作用、氢键和静电作用吸附在水泥颗粒表面^[25],在水泥颗粒表面形成了 ADMS 吸附层,吸附层在压力差的作用下在滤饼处成膜,可以有效地封堵失水通道^[26],其作用机理如图 12 所示。

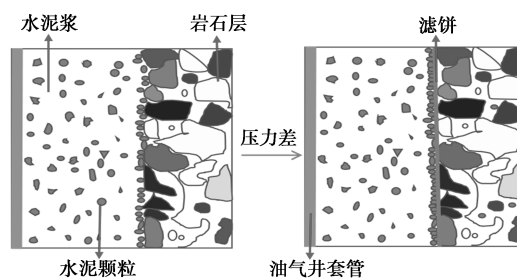


图 12 ADMS 作用机理

3 结论

(1) 非离子型乳化剂异构十三醇聚氧乙烯醚和司班 80 乳化剂的加入避免了产物的团聚,使得产物提纯干燥后为粉体颗粒,提高了在生产和使用过程中的安全性,简化了工艺流程并降低了能源消耗等成本。

(2) 基于反向乳液聚合法合成了四元抗高温抗盐粉体降失水剂 ADMS, 乳液聚合过程中采用环保型乳化剂降低了对环境的污染, 通过单因素实验和正交实验优化出了最佳合成条件: 单体 AMPS、DMAA、MA、SMAS 质量比为 80:20:3:0.1, 油水比为 1:1, HLB 值为 7, 乳化剂质量占乳液质量的 8%, 引发剂质量分数为 0.8%, 单体质量分数为 30%, 反应时间为 3 h, 反应温度为 70℃, 搅拌速度为 450 r/min。

(3) 红外光谱和核磁共振谱分析表明 4 种单体全部参与了反应, 凝胶色谱显示 ADMS 的重均分子量达到了 448 198, 热重分析表明其耐温可达 320℃。

(4) ADMS 具有良好的控失水效果。

(5) 粉体降失水剂 ADMS 通过吸附作用并在滤饼处成膜来降低失水量。

参考文献

- [1] Zhang F, Sun J, Dai Z, *et al.* Organosilicate polymer as high temperature Resistent inhibitor for water-based drilling fluids [J]. *Journal of Polymer Research*, 2020, 27: 1-13.
- [2] 郭子涵, 李明, 杨燕, 等. 近年来油井水泥降失水剂研究现状概述 [J]. *现代化工*, 2015, 35(10): 49-53.
- [3] Oliveira A M, Guimaraes K L, Cerize N N P. The role of functional monomers on producing nanostructured lattices obtained by surfactant-free emulsion polymerization—A novel approach [J]. *Eur Polym J*, 2016, 71: 268-278.
- [4] Wang R, Li J, Zhang T, *et al.* Chemical interaction between polymer and cement in polymer-cement concrete [J]. *J Polish Academy Sci*, 2016, 64(4): 785-792.
- [5] Liu K, Du H, Zheng T, *et al.* Recent advances in cellulose and its derivatives for oilfield applications [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 259(2): 117740.
- [6] Dias F T G, Souza R R, Lucas E F. Influence of modified starches composition on their performance as fluid loss additives in invert-emulsion drilling fluids [J]. *Fuel*, 2015, 140: 711-716.
- [7] 刘学鹏, 张明昌, 方春飞. 耐高温油井水泥降失水剂的合成和性能 [J]. *钻井液与完井液*, 2015, 32(6): 61-64, 107.
- [8] Plank J, Brandl A, Lummer N R. Effect of different anchor groups on adsorption behavior and effectiveness of poly (*N,N*-dimethylacrylamide-co-Ca2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate)s cement fluid loss additive in presence of acetone-formaldehyde-sulfite dispersant [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, 106(6): 3889-3894.
- [9] Li P, Xu Y, Hu M, *et al.* Influence of carboxyl group on filtration property of oil well cement paste at different temperatures investigated using molecular dynamics simulation [J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2020, 306: 112943.
- [10] 杨广, 李应锋, 徐祖国, 等. 异构十三醇聚氧乙烯醚及其硫酸盐的性能研究 [J]. *中国洗涤用品工业*, 2022, (6): 25-29.
- [11] 万赈民, 郑宾国, 谢祥兵, 等. 司班 80 表面活性剂改性氢氧化铝粉体 [J]. *非金属矿*, 2020, 43(2): 51-54.
- [12] 王冕堂, 李梅, 柳召刚, 等. 超细粉体的团聚机理和表征及消除 [J]. *中国粉体技术*, 2008, (3): 46-51, 59.
- [13] 郭锦棠, 卢海川, 刘硕琼, 等. 新型固井降失水剂 HTF-200C [J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(3): 359-364.
- [14] 宋建建, 许明标, 王晓亮. 胶乳粉固井水泥浆体系研究与应用 [J]. *油田化学*, 2021, 38(3): 406-411.
- [15] 俞路遥, 许可, 方波, 等. 反相乳液聚合体系在油气田开发领域的应用进展 [J]. *应用化工*, 2022, 51(7): 2034-2039.
- [16] 刘欢, 曾雪玲, 李文研, 等. 新型抗温耐盐聚合物降失水剂的制备及性能研究 [J]. *现代化工*, 2023, 43(1): 226-233.
- [17] Yan S, Wang Y, Wang F, *et al.* Synthesis and mechanism study of temperature-resistant fluid loss reducer for oil well cement [J]. *Advances in Cement Research*, 2017, 29(5): 183-193.
- [18] 夏修建, 于永金, 靳建洲, 等. 耐高温抗盐固井降失水剂的制备及性能研究 [J]. *钻井液与完井液*, 2019, 36(5): 610-616.
- [19] 刘振兴. 新型耐温抗盐降失水剂的研制与性能评价 [D]. 天津: 天津大学, 2020.
- [20] Tang X, Yuan B, Yang Y, *et al.* Preparation and performance of AMPS/AA/DMAA/SA copolymer as a filtrate reducer for oil well cementing [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2016, 133(33): 43824.
- [21] 李景润, 范国梁, 渠荣遴. 有机结构波普分析 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2006.
- [22] 李皋, 付强, 余航航, 等. 四元共聚抗高温抗盐油井水泥浆降失水剂的合成 [J]. *天然气工业*, 2018, 38(12): 96-101.
- [23] Li M, Xiao W, Zhang H, *et al.* An effective salt-tolerant fluid loss additive-suitable for high temperature oil well cement [J]. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2020, 42(5): 1-12.
- [24] 于永金, 张航, 夏修建, 等. 超高温固井水泥浆降失水剂的合成与性能 [J]. *钻井液与完井液*, 2022, 39(3): 352-358.
- [25] 郭锦棠, 骆成, 余前峰, 等. 抗盐降失水剂 HTF-110L 的研制及性能评价 [J]. *天津大学学报 (自然科学与工程技术版)*, 2015, 48(10): 901-907.
- [26] 刘学鹏, 刘仍光. 油井水泥降失水剂的作用机理研究 [J]. *化学研究与应用*, 2017, 29(12): 1928-1932. ■