

# 抗高温耐盐型钻井液降粘剂TMAJ的合成与性能评价

张连喜, 邢亚萌\*, 付春丽, 张广宇, 杨毅, 黎涛

重庆科技大学石油与天然气工程学院, 重庆

收稿日期: 2024年6月26日; 录用日期: 2024年7月28日; 发布日期: 2024年10月9日

## 摘要

采用水溶液聚合反应合成了单宁(TA)、2-丙烯酰胺-2-甲基丙磺酸(AMPS)及二甲基二烯丙基氯化铵(DMDAAC)的三元共聚物, 将合成的共聚物作钻井液降粘剂, 命名为TMAJ, 并对TMAJ的降粘效果进行了室内评价。利用扫描电镜和激光衍射粒度分析仪对TMAJ的微观结构和粒度分布进行表征。实验结果表明: 该降粘剂可以降低钻井液的动切力和100 r/min数值, 并具有良好的抗高温、耐盐及抗钙性能。

## 关键词

降粘效果, 高温, 抗盐, 抗钙

# Synthesis and Performance Evaluation of High Temperature and Salt Resistant Drilling Fluid Viscosity Reducer TMAJ

Lianxi Zhang, Yameng Xing\*, Chunli Fu, Guangyu Zhang, Yi Yang, Tao Li

School of Petroleum and Natural Gas Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: Jun. 26<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jul. 28<sup>th</sup>, 2024; published: Oct. 9<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

A terpolymer of tannin (TA), 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid (AMPS) and dimethyldiallylammonium chloride (DMDAAC) was synthesized by aqueous solution polymerization. The synthesized copolymer was used as a drilling fluid viscosity reducer and named TMAJ. The viscosity reduction effect of TMAJ was evaluated indoors. The microstructure and particle size distribution

\*通讯作者。

文章引用: 张连喜, 邢亚萌, 付春丽, 张广宇, 杨毅, 黎涛. 抗高温耐盐型钻井液降粘剂 TMAJ 的合成与性能评价[J]. 矿山工程, 2024, 12(4): 664-670. DOI: 10.12677/me.2024.124077

of TMAJ were characterized by scanning electron microscopy and laser diffraction particle size analyzer. The experimental results show that the viscosity reducer can reduce the dynamic shear force and 100 r/min value of the drilling fluid, and has good high temperature resistance, salt resistance and calcium resistance.

## Keywords

Viscosity Reduction Effect, High Temperature, Salt Resistance, Calcium Resistance

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

近些年, 随着我国超深井数量的增多, 钻井液所面临的技术难题也随之而来, 比如高温稳定性、流变性等问题越来越突出[1]-[3], 在钻井过程中, 会遇到含盐层、含钙层而导致钻井液的流变性能恶化[4]-[6], 因此抗盐及抗钙性能也变得尤为关键。目前合成聚合物降粘剂应用最为广泛, 主要分为以下3类[7]: 含磺酸基团类、含阴、阳离子基团两性类、含羧酸基团类, 这些处理剂的研发可有效调控水基钻井液的流变性能, 但在高温条件下, 含盐粒子、钙离子的盐水钻井液中降粘效果不理想。针对以上难题, 基于抗高温耐盐型聚合物分子结构设计原理[8], 我们合成了一种抗高温耐盐型钻井液降粘剂, 为抵抗超深井高温, 钻遇含盐、含钙层等极端环境下钻井液失效的情况, 并评价了其在钻井液中的降粘效果, 为后面钻井液的研发提供思路。

## 2. 实验部分

### 2.1. 实验药品和仪器

单宁(TA), 工业品; 2-丙烯酰胺-2-甲基丙磺酸(AMPS), 工业品; 二甲基二烯丙基氯化铵(DMDAAC); 氢氧化钾(KOH), 分析纯; 过硫酸钾( $K_2S_2O_8$ ), 分析纯; 亚硫酸氢钠( $NaHSO_3$ ), 分析纯。MK-6ST 数显六速旋转粘度计, 山东美科仪器有限公司; 集热式恒温加热磁力搅拌器, 天津市泰斯特仪器有限公司; GJSS-B12K 变频高速搅拌机, 青岛百瑞达石油机械制造有限公司; XGRL-5 型高温滚子加热炉, 青岛海通达专用仪器有限公司; JSM-7800F 场发射电子扫描电镜, 日本; 激光衍射粒度分析仪, 英国。

### 2.2. 降粘剂的合成

(1) 称取一定量的去离子水, 置于多头磁力搅拌器, 调节搅拌器转速为 20rad/min, 将适量的单宁以及氢氧化钾溶液分散到去离子水中, 待分散完全后, 形成单宁碱液;

(2) 用 pH 调节剂将体系的 PH 值调为碱性, 并将混合体系转移至集热式恒温加热磁力搅拌器上, 向其中加入适量的甲醛溶液, 在 80℃~100℃条件下反应 1 h;

(3) 向醛化后的混合溶液中加入亚硫酸氢钠和甲醛溶液, 将反应环境的 pH 调至 8~12, 在 80℃~100℃下反应 2~5 h 即可, 随即用电子天平准确称取所需量的改性水溶性单体, 依次加入到混合体系中, 待完全溶解后, 向体系中加入 pH 调节剂, 使体系处于弱酸性或中性;

(4) 将集热式恒温加热磁力搅拌器温度调至 70℃~90℃, 待温度达到后, 向反应器中通入 2~3 min 氮气除氧, 紧接着向混合体系中加入引发剂(过硫酸钾 + 亚硫酸氢钠)形成激发体系, 在此温度下进行溶液

聚合反应，反应 3~5 h 后得到的溶液聚合物即为目标产物，改性单宁聚合物类降粘剂 TMAJ。

## 2.3. 降粘液降粘效果评价

### 2.3.1. 评价基浆的配制

(1) 污染基浆：准确称取 400.0 mL 蒸馏水，向其中加入 28.0 g 钠基膨润土，高速搅拌 20 min，在室温下密闭养护 24 h，得到淡水基浆。向淡水基浆中加入 4 g 无水  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ，高速搅拌 5 min 后，室温下密闭养护 2 h，即可得污染基浆。

(2) 盐水钻井液：在 7% 淡水基浆中加入 10% 的氯化钠，高速搅拌 5 min 后，于室温下密闭养护 24 h，即得盐水钻井液。

(3) 含钙钻井液：在 7% 淡水基浆中加入 0.15% 氯化钙，高速搅拌 5 min 后，于室温下密闭养护 24 h，即得含钙钻井液。

### 2.3.2. 降粘效果测试步骤

常温下降粘效果测试步骤：向配制好的评价基浆中加入 TMAJ 降粘剂，转移至高搅杯中，在 11,000 r/min  $\pm$  300 r/min 转速下高速搅拌 20 min，室温下使用数显六速旋转粘度计测量样品的流变性。

180℃ 下降粘效果测试步骤：向配制好的评价基浆中加入 TMAJ 降粘剂，转移至高搅杯中，在 11,000 r/min  $\pm$  300 r/min 转速下高速搅拌 20 min 后，装入到老化罐中，放入到 XGRL-5 型高温滚子加热炉中，在 180℃ 下老化 16 h 后取出，倒入高搅杯中，高搅 20 min 后，室温下使用数显六速旋转粘度计测量混合样的流变性。

### 2.3.3. 降粘效果评价方法

#### (1) 美国麦克巴公式

目前我国常用的降粘剂降粘效果评价指标，是引用美国 Magcobar 公司以 100 r/min 读数计算的降粘率  $R_{\phi 100}$ ，%

$$R_{\phi 100} = \frac{\phi 100 - \phi 100_0}{\phi 100}$$

式中：

$\phi 100$ ——评价基浆 100 r/min 的读数；

$\phi 100_0$ ——加入降粘剂后混合样 100 r/min 的读数。

#### (2) 动切力降低率

动切力具有一定的物理意义，是评价钻井液流变性能的重要参数。因此引用动切力降低率  $R_{YP}$  作为降粘效果评价指标。

$$R_{YP} = \frac{YP - YP_0}{YP}$$

式中：

$YP$ ——评价基浆的动切力值；

$YP_0$ ——加入降粘剂后混合样的动切力值。

## 2.4. 降粘剂的表征

### 2.4.1. 扫描电镜分析

使用日本生产的 JSM-7800F 场发射电子扫描电镜进行测定。

### 2.4.2. 粒径分析

使用英国生产的激光衍射粒度分析仪对降粘剂的粒径进行测定。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. TMAJ 降粘剂在污染基浆中的降粘效果评价

将 TMAJ 加入到污染基浆中，用六速粘度计测量其在室温以及 180℃ 高温老化 16 h 后样品浆的流变性能，实验结果如表 1 所示。

**Table 1.** Changes in rheological parameters of contaminated slurry before and after adding TMAJ viscosity reducer  
**表 1.** 加入 TMAJ 降粘剂前后污染基浆的流变参数变化

降粘剂加量, %	老化情况	YP, Pa	$\phi_{100}$ , mPa·s	$R_{YP}$ , %	$R_{\phi_{100}}$ , %
0.0	老化前	25.0	57.0	--	--
	老化后	18.5	41.0	--	--
0.5	老化前	12.0	32.0	52.0	43.9
	老化后	9.5	25.0	48.7	39.0
1.0	老化前	8.5	23.0	66.0	59.6
	老化后	8.0	18.0	56.8	56.1
1.5	老化前	9.0	23.0	64.0	59.6
	老化后	7.0	17.0	62.2	58.5
2.0	老化前	9.5	25.0	62.0	56.1
	老化后	7.5	19.0	59.5	53.7

从表 1 可看出，随着 TMAJ 降粘剂加量的增加，降粘效果越明显。当降粘剂加量为 0.1% 时，老化前  $R_{YP}$  可以达到 66.0%， $R_{\phi_{100}}$  为 59.6%，说明在污染基浆中 TMAJ 体现出较好的降粘特性；在 180℃ 下老化 16 h 后， $R_{YP}$  为 56.8%， $R_{\phi_{100}}$  为 56.1%，降低率均大于 55%，说明在高温条件下，TMAJ 仍具有调控污染基浆流变性能的能力，证明了 TMAJ 具有良好的抗温性能。

### 3.2. TMAJ 降粘剂在盐水基浆中的降粘效果评价

将 TMAJ 加入到盐水基浆中，用六速粘度计测量其在室温以及 180℃ 高温老化 16 h 后样品浆的流变性能，实验结果如表 2 所示。

**Table 2.** Changes in rheological parameters of saltwater-based slurry before and after adding TMAJ viscosity reducer  
**表 2.** 加入 TMAJ 降粘剂前后盐水基浆的流变参数变化

降粘剂加量, %	老化情况	YP, Pa	$\phi_{100}$ , mPa·s	$R_{YP}$ , %	$R_{\phi_{100}}$ , %
0.0	老化前	23.0	42.0	--	--
	老化后	12.0	26.0	--	--
0.5	老化前	12.0	25.0	47.8	40.5
	老化后	7.5	18.0	37.5	30.8
1.0	老化前	10.0	22.0	56.5	47.6
	老化后	6.0	17.0	50.0	34.6

续表

1.5	老化前	9.5	21.0	58.7	50.0
	老化后	5.5	14.0	54.2	46.2
2.0	老化前	9.0	20.0	60.9	52.4
	老化后	5.0	13.0	58.3	50.0

从表 2 的数据不难发现, 盐水钻井液在经过高温老化后, 出现增温降粘的现象, 动切力下降了接近一倍。随着 TMAJ 降粘剂的添加, 盐水钻井液流变性能明显改善。当降粘剂加量从 0.5% 增加到 2.0%, 降粘效果大体处于上升趋势, 加量在 1.5%~2.0% 范围内, 降粘效果上升幅度减小。向盐水钻井液中加入 2.0% TMAJ 后, 老化前后钻井液的  $R_{YP}$  以及  $R_{\phi 100}$  均大于 50%, 体现了 TMAJ 良好的抗盐性能。

### 3.3. TMAJ 降粘剂在含钙钻井液中的降粘效果评价

将 TMAJ 加入到含钙钻井液中, 用六速粘度计测量其在室温以及 180℃ 高温老化 16 h 后样品浆的流变性能, 实验结果如表 3 所示。

**Table 3.** Changes in rheological parameters of calcium-containing drilling fluid before and after adding TMAJ viscosity reducer

**表 3.** 加入 TMAJ 降粘剂前后含钙钻井液的流变参数变化

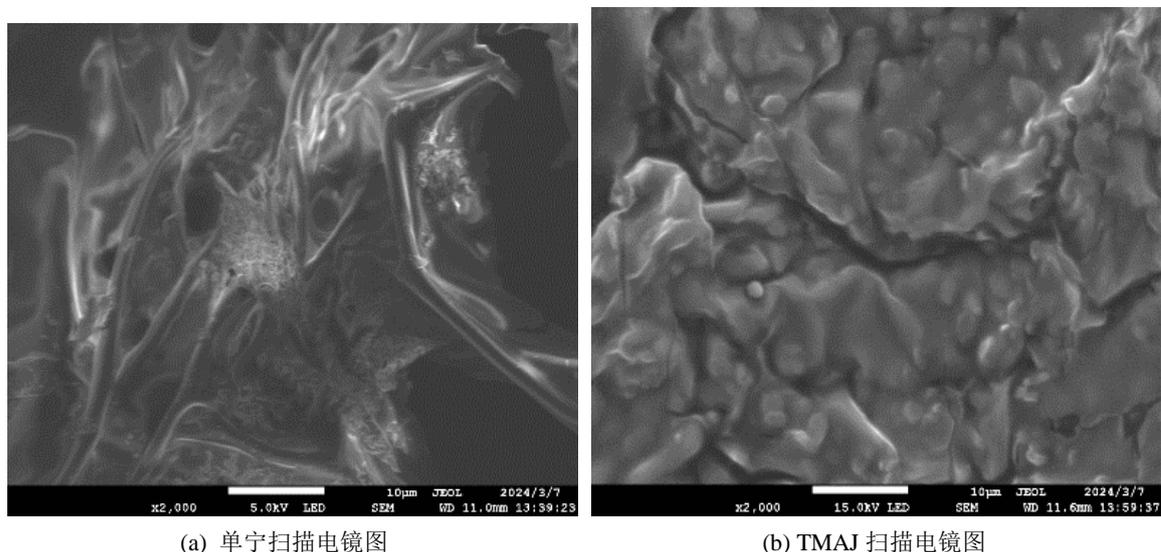
降粘剂加量, %	老化情况	YP, Pa	$\phi 100$ , mPa·s	$R_{YP}$ , %	$R_{\phi 100}$ , %
0.0	老化前	13.5	28.0	--	--
	老化后	14.0	28.0	--	--
0.5	老化前	8.0	18.0	40.7	35.7
	老化后	9.0	20.0	35.7	28.6
1.0	老化前	7.5	17.0	44.4	39.3
	老化后	8.0	18.0	42.9	35.7
1.5	老化前	6.5	16.0	51.9	42.9
	老化后	7.0	17.0	50.0	39.3
2.0	老化前	6.5	15.0	52.0	46.4
	老化后	7.0	15.0	50.0	46.4

由表 3 所示, 含钙钻井液在 180℃ 下老化前后, 流变性能变化不大, 动切力、100 r/min 读数稳定。当 TMAJ 加量为 2% 时, 室温下  $R_{YP}$  为 52.0%,  $R_{\phi 100}$  为 46.4%; 180℃ 老化后  $R_{YP}$  为 50.0%,  $R_{\phi 100}$  为 46.4%, 老化前后降粘率保持相对稳定的状态, 展现出 TMAJ 较强的抗钙性能。

### 3.4. 扫描电镜分析

将单宁单体及合成好的 TMAJ 样品, 进行烘干提纯, 用 JSM-7800F 场发射电子扫描电镜进行扫描, 扫描电镜图如图 1 所示。

由图 1 可知, 单宁本身表面较光滑; 单宁经溶液聚合反应改性后生成的 TMAJ 产物, 表面变得粗糙不平, 说明单宁在改性过程中可能发生了有效的聚合反应, 从而使其表面官能团发生了变化, 使其表面形态发生变化。



**Figure 1.** Scanning electron microscopy images of tannin and TMAJ viscosity reducer  
**图 1.** 单宁及 TMAJ 降粘剂扫描电镜图

### 3.5. 粒径分析

将 TMAJ 样品加入到激光衍射粒度分析仪样品池中,在超声波及振荡作用下对样品的粒径进行测定。粒径分布见表 4。

**Table 4.** TMAJ viscosity reducer particle size distribution  
**表 4.** TMAJ 降粘剂粒径分布表

D10 ( $\mu\text{m}$ )	D50 ( $\mu\text{m}$ )	D90 ( $\mu\text{m}$ )
195.9	396.7	1078

在实际应用中,钻井液的效果受到颗粒大小的影响,因此降粘剂的粒径分布尤为重要。一般来说,物质的粒径越小,分散性越强,性能越好。TMAJ 样品  $D_{50}$  为  $396.7 \mu\text{m}$ ,  $D_{10}$  为  $195.9 \mu\text{m}$ , 粒径分布均匀。

## 4. 结论

- (1) 以 TA、AMPS 和 DMDAAC 进行共聚反应,研制出三元抗高温耐盐型钻井液降粘剂;
- (2) 合成的降粘剂 TMAJ 对淡水基浆、盐水基浆和含钙钻井液均表现出较强的降粘性能;
- (3) 经过室内评价实验,实验结果表明 TMAJ 降粘剂具有良好的抗温性能及抗盐抗钙性能。

## 参考文献

- [1] 张旭. 高温高压水基钻井液技术发展浅析[J]. 西部探矿工程, 2021, 33(5): 27-28+32.
- [2] 刘瑞, 于培志. 抗高温水基钻井液处理剂研究进展[J]. 应用化工, 2021, 50(6): 1618-1621.
- [3] 杜俊涛. 耐高温合成类水溶性聚合物水基钻井液处理剂研究进展[J]. 广东化工, 2014, 41(20): 81-82.
- [4] 牛中念, 刘凡, 王永, 等. 新型抗高温饱和盐水泥浆处理剂树脂的合成及使用性能[J]. 河南科学, 1996(4): 56-60.
- [5] 鲁家荣. 抗高温抗高浓度盐水基钻井液降黏剂研制与效果评价[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2017.
- [6] 王光平, 吴洋, 刘大海, 等. 抗温耐盐型钻井液降粘剂合成与性能评价[J]. 应用化工, 2015, 44(10): 1897-

1900+1904.

- [7] 庞少聪, 安玉秀, 马京缘. 近十年国内钻井液降粘剂研究进展[J]. 钻探工程, 2022, 49(1): 96-103.
- [8] 王中华. 超高温钻井液体系研究(I)——抗高温钻井液处理剂设计思路[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(3): 1-7.