

含氟羧酸酯-马来酸酐原油降凝剂的合成及性能研究

王翔¹, 张国欣^{1*}, 陆原¹, 胡廷¹, 魏强¹, 陈严飞²

(1. 中海油(天津)油田化工有限公司, 天津 300450; 2. 中国石油大学(北京), 北京 102249)

摘要: 为了改善海上原油管输流动效果, 以甲基全氟烷基乙基羧酸酯(GMA)和马来酸酐(MA)为单体、偶氮二异丁腈为引发剂合成聚(甲基全氟烷基乙基羧酸酯-马来酸酐)(GM), 以其为主剂与乙烯-乙酸乙酯共聚物(EVA)复配形成含氟羧酸酯-马来酸酐原油降凝剂, 并对GM合成条件、降凝剂降凝效果影响因素、加剂前后原油流变性和微观形态进行评价分析。结果表明, GM合成优化工艺条件为: GMA与MA摩尔比为5:1, 引发剂质量分数为0.6%、反应温度为75℃、反应时间为8 h; GM与EVA间存在协同作用, 当 $w(\text{GM}):w(\text{EVA})=6:4$ 、加剂量为400 mg/L时, 原油凝点为5.5℃, 降凝幅度为13℃; 在温度为10℃时, 加剂前后原油黏度从562.9 mPa·s降至93.1 mPa·s, 降黏率达83.5%, 原油屈服值从986.6 Pa降低至68.02 Pa, 屈服值下降率达93.1%; 加剂前后蜡晶形态由棒针状大聚集堆叠变为小聚集分散, 加剂对改善原油低温流动状态具有明显效果。

关键词: 含氟共聚物; 降凝剂; 协同降凝; 流变性; 微观结构

中图分类号: TE39; TQ65

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2024)07-0124-06

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.07.022

Synthesis and property evaluation of fluorine-containing carboxylate-maleic anhydride pour point depressant for crude oil

WANG Xiang¹, ZHANG Guo-xin^{1*}, LU Yuan¹, HU Ting¹, WEI Qiang¹, CHEN Yan-fei²

(1. CNOOC EnerTech Oilfield Chemical Co., Ltd., Tianjin 300450, China;

2. China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China)

Abstract: In order to improve the flowing effect of offshore crude oil in pipeline transportation, polymethylperfluoroalkyl ethylcarboxylate-maleic anhydride (GM) is made from methylperfluoroalkyl ethylcarboxylate (GMA) and maleic anhydride (MA), and with azodiisobutyronitrile as initiator. GM is taken as main component to compound with ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) to obtain fluorine-containing carboxylate-maleic anhydride pour point depressant for crude oil. The synthesis conditions for GM copolymer, the factors influencing the de-coagulation effect, the rheology and micromorphology of crude oil before and after addition of pour point depressant are evaluated and analyzed. Results show that the optimal synthesis conditions for GM copolymer are as follows: the molar ratio of GMA to MA is 5:1, the dosage of azodiisobutyronitrile is 0.6 wt.%, reaction temperature is 75℃, and reaction time is 8 h. There exists a synergistic effect between GM and EVA. The freezing point of crude oil declines by 13℃ to 5.5℃ when $w(\text{GM}):w(\text{EVA})=6:4$ and the dosage of pour point depressant is 400 mg·L⁻¹. At 10℃, the viscosity of crude oil after adding pour point depressant decreases to 93.1 mPa·s from 562.9 mPa·s before adding pour point depressant, with a reduction rate of 83.5%, and the yield value of crude oil decreases from 986.6 Pa to 68.02 Pa, with a decrease of 93.1%. Before and after dosing, the wax crystal morphology changes from rod-needle like large aggregate stacking to small aggregate dispersion, and the dosing generates obvious effect on improving the low-temperature flow state of crude oil.

Key words: fluorine-containing copolymers; pour point depressant; synergistic de-coagulation; rheology; microstructure

随着海上油田的增储上产, 海底管输高凝高黏原油量持续上升, 严重制约其开采与集输, 所以增强原油低温流动性成为原油开发、集输过程中亟待解决的问题^[1-7]。在现有原油降凝技术中, 化学降凝法在增强管输有效面积的操作可行性与减少动力消耗的经济性方面均优于物理方法, 因此为了保证海

上原油长距离管输安全、指导台风自动运行和停输期间的生产作业活动正常开展, 有必要对化学降凝剂进行系统性研究。目前国内外降凝剂产品主要集中于表面活性剂型、共聚物型和复配型, 基于降凝剂分子结构设计原则^[8-9], 笔者利用含氟表面活性剂“三高”“两憎”的结构特性^[10-12], 设计合成全氟羧

收稿日期: 2023-10-31; 修回日期: 2024-04-28

基金项目: 国家自然科学基金(52171285); 天津市科技领军企业重大创新(22YDLQGX00020); 中海油能源发展科技重大专项(HFZDZX-GJ2021-02)

作者简介: 王翔(1994-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事原油流动性安全保障方面的研发工作, Shawnwong1026@163.com; 张国欣(1984-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事原油流动性安全保障工作, 通讯联系人, zhanggx11@cnooc.com.cn。

酸酯-马来酸酐共聚物型降凝剂,能够有效提高海底管输高凝原油的降凝效果,为海上油田原油低温流动性保障提供新的技术参考。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

甲基全氟烷基乙基羧酸酯(GMA),工业级,威尔伯新材料科技(苏州)有限公司生产;马来酸酐(MA),工业级,上海凯茵化工有限公司生产;乙烯-乙酸乙烯酯共聚物(EVA)(VAc含量15%),工业级,广州斌龙化工有限公司生产;偶氮二异丁腈(AIBN),工业级,济南恒达化学助剂有限公司生产;甲苯,分析纯,上海麦克林生化科技有限公司生产;平湖原油,中海石油(中国)有限公司上海分公司平湖作业公司生产,原油族组分与物性如表1所示。

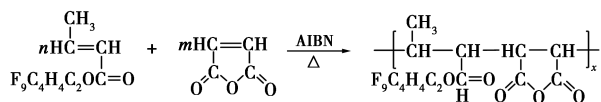
表1 平湖油田原油组成及相关物性

油样	平湖原油	油样	平湖原油
$w(\text{胶质})/\%$	6.07	黏度(50℃)/(mPa·s)	12.13
$w(\text{沥青质})/\%$	1.69	$\rho^{20\text{℃}}/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	0.86
$w(\text{蜡})/\%$	18.27	凝固点/℃	18.50

RV10 旋转蒸发仪,德国 IKA 集团公司生产;DT-4003C 型凝点测定仪,大连大唐科学仪器有限公司生产;VERTEX 傅里叶变换红外吸收光谱仪,德国 Bruker 公司生产;RhoeStress 600 型流变仪,德国 Thermo Fisher 公司生产;50IPOL 偏光显微镜,尼康映像仪器(中国)有限公司生产。

1.2 合成方法

将适量甲基全氟烷基乙基羧酸酯和马来酸酐按照一定比例加入 250 mL 四口烧瓶中,加入一定比例的溶剂甲苯,打开搅拌装置,控制搅拌速度为 250 r/min,搅拌 0.5 h 使单体完全混合均匀;然后进行抽真空-充氮气操作 0.5 h,保证无氧气残留;随后将引发剂偶氮二异丁腈溶解于定量溶剂甲苯中配制成有机溶液,于恒压滴液漏斗中缓速连续滴加引发剂溶液 1 h,滴加过程中保持反应温度低于 80℃;反应 8 h 后,采用旋转蒸发仪减压蒸馏除去多余的甲苯溶剂,除尽后将剩余液体冷却至室温,真空干燥 6 h,即得含氟羧酸酯-马来酸酐共聚物 P(GMA-co-MA),其合成反应方程式如下:



随后将适量含氟羧酸酯-马来酸酐共聚物与乙烯-乙酸乙烯酯共聚物的复配物和溶剂甲苯按照一定质量比配制成含氟羧酸酯-马来酸酐原油降凝剂。

1.3 结构表征与性能研究

1.3.1 傅里叶变换红外光谱分析(FT-IR)

分别取 2~5 mg 经真空干燥的试样和 200 mg KBr 粉末于玛瑙研钵中混合研磨均匀,采用压片机压制混合粉末试样为透明圆薄片,随后将带有透明圆薄片的置物盘置于 VERTEX 傅里叶变换红外吸收光谱仪(分辨率 1.5 cm⁻¹,光谱范围 4 000~400 cm⁻¹)中,开启程序测试试样红外吸收光谱曲线。

1.3.2 加剂前后原油降凝效果研究

根据石油行业标准 SY/T 0541—2009《原油凝点测定法》,将于水浴锅设定温度恒温的适量原油取至刻度线处,插入温度计后以 0.5~1℃/min 的冷却速度降温,当试样温度高于预期凝点 8℃时,每降 2℃观测试样液面的流动性,直至试样水平放置 5 s 液面仍不发生移动,此时的温度即为凝点。通过原油加剂前后降凝幅度的降低值来评价降凝效果。

1.3.3 加剂前后原油流变性能研究

(1)黏温特性:根据石油行业标准 SY/T 0520—2008《原油黏度测定—旋转黏度计平衡法》,经过预定温度热处理的原油,设置升温序列为 5~50℃,温度梯度为 5℃,控制剪切速率为 7.2 s⁻¹,测试原油加剂前后的黏温曲线。

(2)屈服值:经过预定温度热处理的原油,设置升温序列为 5~50℃,温度梯度为 5℃,初始加载应力为 0.1 Pa,测试剪切应力与剪切速率线性图,随着剪切速率的增大剪切应力发生突变的点即为对应屈服值。

1.3.4 加剂前后蜡晶微观形态分析

将预定温度处理的原油涂敷于玻片上,随后置于冷热台上以 0.5℃/min 的速率降温至实验温度,通过调整显微镜观察不同视域下的蜡晶微观形态并拍摄蜡晶图片进行蜡晶形态微观变化分析。

2 结果与讨论

2.1 含氟羧酸酯-马来酸酐共聚物合成条件优化

2.1.1 单体摩尔比对降凝效果影响

控制自由基聚合反应的反应温度为 75℃、反应时间为 8 h、引发剂 AIBN 质量分数为 0.6%,通过改变 GMA 和 MA 单体摩尔比,研究含氟羧酸酯-马来

酸酐共聚物对平湖原油降凝效果的影响,结果如图 1 所示,其中加剂温度为 55℃,加剂量为 400 mg/L。

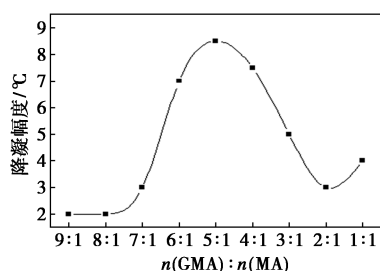


图 1 GMA 与 MA 的单体摩尔比对降凝效果的影响

由图 1 中可以看出,当 GMA 与 MA 单体摩尔比为 5:1 时,降凝幅度出现峰值 8.5℃。这与 MA 分子结构中的酸酐基团有较大的极性有关,当其在共聚物中的摩尔分数保持在一定范围内时,可与原油中的胶质、沥青质等极性基团形成氢键,利于降凝剂分子渗透、分散进入蜡晶间的片状堆叠结构中,破坏蜡晶搭接堆砌的有序空间结构,增强油品流动性,但原油的极性是一定的,只有当共聚物的极性与其相似时才能表现出较好的流动性。因此优选 GMA 与 MA 的单体摩尔比为 5:1。

2.1.2 引发剂质量分数对降凝效果影响

引发剂质量分数影响共聚物的分子质量与分子质量分布,从而影响降凝效果。控制 GMA 与 MA 的单体摩尔比为 5:1、反应温度为 75℃、反应时间为 8 h,通过 AIBN 质量分数的改变研究含氟羧酸酯-马来酸酐共聚物对平湖原油降凝效果的影响,结果如图 2 所示。

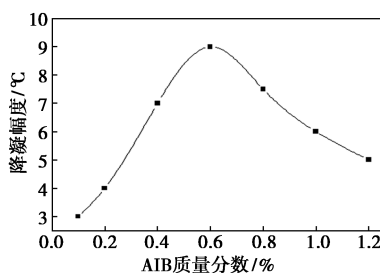
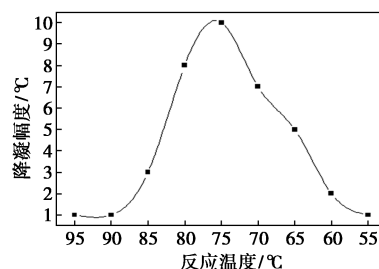


图 2 AIBN 质量分数对 GM 降凝效果的影响

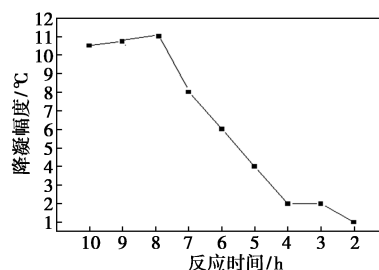
由图 2 中可以看出,随着引发剂 AIBN 质量分数的增加,共聚物降凝幅度先增大后减小,当引发剂 AIBN 质量分数为 0.6% 时,降凝幅度出现峰值 9℃,这与引发剂质量分数的不同导致的共聚物分子质量以及分子结构发生变化从而影响共聚物与蜡晶间的共晶吸附作用效果有关,因此优选引发剂 AIBN 质量分数为 0.6%。

2.1.3 反应温度与反应时间对降凝效果影响

控制 GMA 与 MA 的单体摩尔比为 5:1、AIBN 质量分数 0.6%,通过改变反应温度与反应时间研究含氟羧酸酯-马来酸酐共聚物对平湖原油降凝效果的影响,结果如图 3 所示。



(a) 反应温度对 GM 降凝效果的影响



(b) 反应时间对 GM 降凝效果的影响

图 3 反应温度与反应时间对 GM 降凝效果的影响

由图 3 可知,随着反应温度的增加,共聚物降凝幅度先增大后减小;随着反应时间的增加,共聚物降凝幅度略有增大随后迅速减小,在反应温度为 75℃ 和反应时间为 8 h 时,降凝幅度出现峰值。随着反应温度升高,引发剂的分解速率增加,引发活性中心的增多引起分子质量的增加,但过高温度会使共聚物分子分布变宽,不利于降凝剂降凝效果的提升^[17];单体浓度随着反应时间的增加而降低,引起平均分子质量降低,与蜡晶的作用效果逐渐变差,宏观表现为降凝幅度减小。

2.2 含氟羧酸酯-马来酸酐共聚物结构表征

含氟羧酸酯-马来酸酐共聚物 GM 红外光谱图如图 4 所示。从图 4 中可以看出,在 2 921、2 849 cm^{-1} 处的 2 个强特征吸收峰为 CH 伸缩振动峰;在 1 782、1 730 cm^{-1} 处的吸收峰是马来酸酐中羰基 ($\text{C}=\text{O}$) 的吸收峰;在 1 640 cm^{-1} 左右没有明显吸收峰,说明碳碳双键 ($\text{C}=\text{C}$) 已经消失,不饱和单体聚合完成;在 1 394 cm^{-1} 处为 CH_3 的对称变形振动吸收峰;在 1 239、1 148 cm^{-1} 处为酯基中 $\text{C}=\text{O}$ 的伸缩振动吸收峰,722 cm^{-1} 处存在多个 CH_2 的平面摇摆振动吸收峰,说明单体聚合形成的共聚物分子中存在酯基、酸酐极性基团和烷基链,无单体

物质存在。

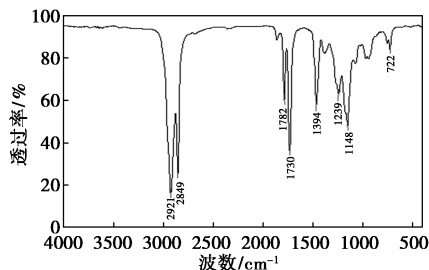


图4 含氟羧酸酯-马来酸酐共聚物 GM 红外光谱图

2.3 含氟羧酸酯-马来酸酐原油降凝剂降凝效果影响因素研究

2.3.1 不同质量比复配物对降凝效果影响

单一共聚物对原油的降凝效果影响有限,因此通常采用复配协同的方式以增强降凝剂的降凝效果^[13-15],采用甲苯作溶剂,通过调整 GM 与 EVA 的质量比,研究不同质量比复配物对降凝效果的影响,结果如表 2 所示,控制加剂质量浓度为 400 mg/L。从表 2 中可以看出,当 $m(\text{GM}):m(\text{EVA})=6:4$ 时,原油凝点为 5.5℃,降凝幅度为 13℃,GM 与 EVA 间协同作用对提升原油低温流动效果显著。

表 2 GM 与 EVA 以不同质量比复配后降凝效果

实验编号	$m(\text{GM}):m(\text{EVA})$	加剂质量浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	空白原油 凝点/℃	加剂原油 凝点/℃	降凝幅度/ ℃
1	1:9	400	18.5	7.0	11.5
2	2:8	400	18.5	8.0	10.5
3	3:7	400	18.5	8.5	10.0
4	4:6	400	18.5	9.0	9.5
5	5:5	400	18.5	7.0	11.5
6	6:4	400	18.5	5.5	13.0
7	7:3	400	18.5	6.0	12.5
8	8:2	400	18.5	7.5	11.0
9	9:1	400	18.5	7.0	11.5

2.3.2 加剂温度对降凝效果影响

降凝剂与蜡晶发生相互作用的前提是完全互溶于原油体系中。控制加剂温度在 45~80℃ 间变化,研究加剂温度对降凝效果的影响,结果如图 5 所示。从图 5 中可以看出,随着加剂温度的升高原油降凝幅度先增大后不变,说明原油加剂温度的升高有利于降凝剂与蜡晶的相互作用。当原油温度升高至析蜡点以上时,体系中的蜡晶能够彻底形成液态并且分散度明显增大,此时降凝剂分子中长链烷烃能更

充分地与蜡晶共晶,更好地与胶质沥青质发生吸附;但温度过高会导致降凝剂长侧链与微晶或半微晶蜡共通结晶析出时形成细小蜡晶与轻组分的快速挥发,使降凝效果出现较大误差,因此合适的加剂温度对降凝效果提升具有明显作用。

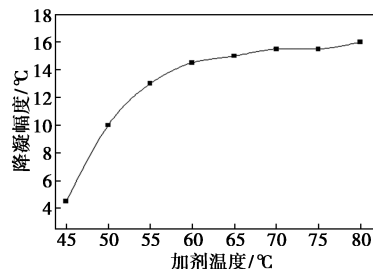


图 5 加剂温度对降凝效果的影响

2.3.3 加剂量对降凝效果影响

控制加剂温度与热处理时间不变,研究含氟羧酸酯-马来酸酐原油降凝剂加剂质量浓度对降凝效果的影响,结果如表 3 所示。从表 3 中可以看出,随着降凝剂质量浓度的增加,原油的凝点逐渐降低,降凝幅度也逐渐增大,原因在于降凝剂分子数的增多会增加与蜡晶粒子作用的活性位点,共晶吸附作用的逐渐增强使得原油体系中蜡晶分散程度增加,凝点逐步降低,但加剂量存在饱和值,因此需要确定合适的加剂量。

表 3 原油降凝剂加剂量对降凝效果的影响

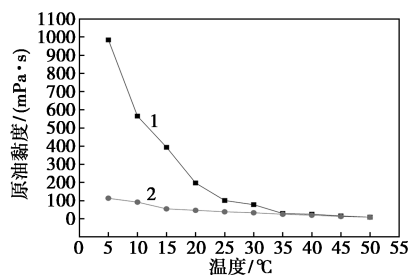
实验编号	加剂质量浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	平湖原油	
		原油凝点/℃	降凝幅度/℃
1	空白	18.5	0
2	200	11.5	7.0
3	400	5.5	13.0
4	600	3.5	15.0
5	800	3.0	15.5
6	1000	-1.5	20.0
7	1200	-2.5	21.0
8	1500	-4.0	22.5

2.4 加剂前后原油流变性能评价

2.4.1 加剂前后原油黏温特性曲线变化

控制原油的热处理温度为 55℃,在剪切频率为 7.2 s^{-1} 下测量不同温度加剂前后原油的黏温曲线,结果如图 6 所示。从图 6 中可以看出,加剂前后原油的黏温曲线呈线性相关,随着温度的升高,黏度呈指数降低。温度在反常点以下时,降凝剂对保持原油低温流动性的作用效果较为明显,而在反常点温

度以上时则表现相对不明显,在温度为 10℃ 时,加剂前后原油黏度从 562.9 mPa·s 降低至 93.1 mPa·s,降黏率可达 83.5%,这与降凝剂与蜡晶分子间的共晶吸附作用形成的蜡晶分子结构更为分散相关^[16],也宏观表明降凝剂对原油低温流动性能的改变。

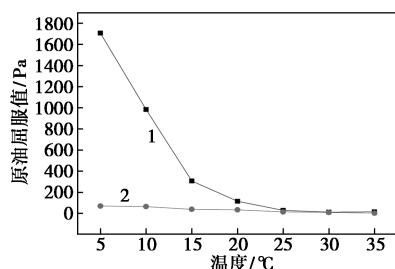


1—空白原油;2—加剂量 400 mg/L 原油

图 6 加剂前后原油黏温曲线

2.4.2 加剂前后原油屈服值的变化

原油屈服值是原油受到剪切应力时能够保持非流动状态所对应的最大值,通常用以量化原油停输再启动的难易程度,实验通过加剂前后原油屈服值的测定研究屈服值随温度的变化关系^[17],结果如图 7 所示。从图 7 中可以看出,原油屈服值随温度的升高而降低,这与原油低温蜡晶析出形成空间网络引起屈服值增大有关,随着温度的升高,空间结构遭到破坏,原油屈服值有较大幅度的下降,在同一温度 10℃ 时,原油加剂前后屈服值由 986.6 Pa 降低至 68.02 Pa,屈服值下降率达到 93.1%,说明降凝剂的加入有效减少了蜡晶微粒间的相互搭接,使得蜡晶无法形成有效的三维网络结构包裹油滴,侧面验证了降凝剂的作用效果良好。



1—空白原油;2—加剂量 400 mg/L 原油

图 7 加剂前后原油屈服值的变化

2.5 加剂前后蜡晶微观形态分析

将加剂前后的原油取样进行蜡晶微观形态观察,从微观层面揭示降凝剂与蜡晶的相互作用,结果如图 8 所示。从图 8 中可以看出,在温度为 10℃ 时,空白原油中有大量的蜡晶析出,且大都呈较大的

棒状、块状、片状、针状等相互堆叠交错;当加入 400 mg/L 的 GM 时,对原油蜡晶有一定分散作用,蜡晶尺寸减小且聚集体相比空白较好;400 mg/L 和 500 mg/L 的降凝剂原油中蜡晶状态更加明显,且蜡晶尺寸更小,由棒状、片状断裂成小颗粒状,说明降凝剂分子中的非极性碳链与蜡晶间的共晶吸附作用有效地改变了蜡晶的尺寸、形状,抑制了蜡晶之间的大量堆叠,且降凝剂分子中的极性基团使晶体表面发生扭曲与差异,增大了晶体表面的界面能,增强了蜡晶在原油中的分散程度,使得原油低温流动性优于未加降凝剂^[18-19]。这是因为蜡晶与降凝防蜡剂的非极性碳链共晶,后者的极性基团使晶体表面发生扭曲与差异,增大了晶体表面的界面能,同时也表明 GM 与 EVA 之间存在协同作用。

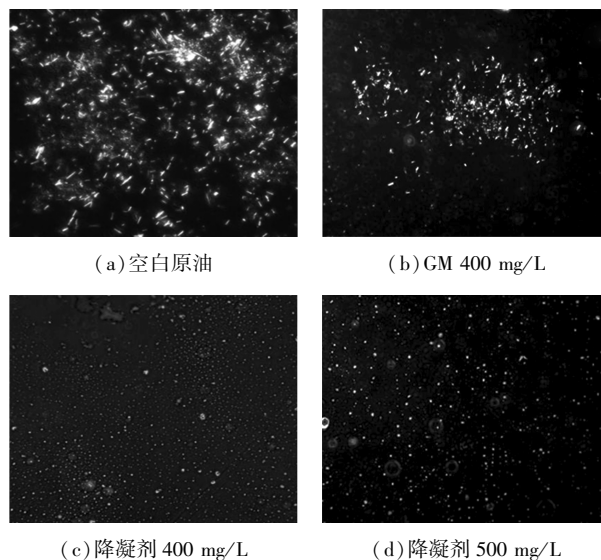


图 8 加剂前后原油蜡晶微观形态对比

3 结论

(1) 采用自由基溶液聚合法,以甲基全氟烷基乙基羧酸酯和马来酸酐为单体、偶氮二异丁腈为引发剂,合成了含氟羧酸酯-马来酸酐共聚物,优化合成工艺条件为:单体摩尔比为 5:1、引发剂质量分数为 0.6%、反应温度为 75℃、反应时间为 8 h。

(2) 原油降凝剂降凝效果影响因素研究表明,GM 与 EVA 间存在协同作用,当 $m(\text{GM}):m(\text{EVA})=6:4$ 、加剂质量浓度为 400 mg/L 时,原油凝点为 5.5℃,降凝幅度为 13℃;提升加剂温度对降凝效果有促进作用,且加剂质量浓度的增加会导致原油的凝点迅速降低,当加剂质量浓度提升至 1 500 mg/L 时,原油凝点为 -4℃,降凝幅度为 22.5℃。

(3) 加剂前后原油流变性与微观结构分析表

明,当温度为 10℃ 时,加剂前后原油黏度从 562.9 mPa·s 降低至 93.1 mPa·s,降黏率可达 83.5%,原油屈服值从 986.6 Pa 降低至 68.02 Pa,屈服值下降率 93.1%;加剂前后蜡晶形态从空白原油的棒状、片状、针状大聚集体堆叠变为小聚集体分散,蜡晶尺寸更小,分散程度更高,综上所述加剂对改善原油低温流动状态具有明显效果。

参考文献

- [1] 夏雪,杨飞,李传宪,等.聚合物/微米复合含蜡原油降凝剂的研究进展[J].石油学报(石油加工),2022,38(2):436-448.
- [2] 朱梦影,程涛,孔冰,等.海底油气管道流动保障技术研究进展[J].当代化工,2019,48(8):1755-1758,1762.
- [3] Cao J, Liu L, Liu C, et al. Phase transition mechanisms of paraffin in waxy crude oil in the absence and presence of pour point depressant [J]. Journal of Molecular Liquids, 2022, 345: 116989.
- [4] Yang F, Zhao Y, Sjöblom J, et al. Polymeric wax inhibitors and pour point depressants for waxy crude oils: A critical review [J]. Journal of Dispersion Science and Technology, 2015, 36(2): 213-225.
- [5] 禹盟,铁磊磊,汪洋,等.南海 E 油田易凝原油降凝剂开发[J].石油化工应用,2023,42(6):70-73,96.
- [6] 夏志,周晓红,邱里,等.降凝剂对 JZ20-2 油气田海底管输高凝点混合原油流变性影响的试验研究[J].中国海上油气,2009,21(4):280-283.
- [7] 康万利,马一玫.原油降凝剂研究进展[J].油气储运,2005,(4):3-7,61-2.
- [8] 郑斌茹,毛国梁,刘振华,等.原油降凝剂的降凝机理及其分子设计研究进展[J].石油化工,2017,46(6):801-809.
- [9] 魏立新,宋洋,耿孝恒,等.原油降凝剂研究进展与发展趋势[J].现代化工,2021,41(3):26-30,35.
- [10] 张国欣,胡廷,张勇,等.含氟羧酸酯共聚物的合成及对惠州原油降凝评价[J].精细石油化工,2020,37(6):12-15.
- [11] 于洪江,安云飞,张国欣,等.含氟表面活性剂与 EVA 协同降凝研究[J].西安石油大学学报(自然科学版),2015,30(5):91-94,100,11.
- [12] 张德兰,汤东,杨勇,等.含氟表面活性剂在油田中的应用[J].化学工业,2011,29(11):29-32,36.
- [13] 郑延成,李卫晨子,侯玲玲,等.高凝原油降凝剂的合成及复配性能研究[J].石油与天然气化工,2012,41(1):70-73,89,122.
- [14] 李鑫源,刘海春,贾秀波,等.格尔木柴油降凝剂效果评价[J].精细石油化工,2021,38(4):15-18.
- [15] 王娜,徐吉展,刘丽,等.新型原油降凝剂的绿色合成与复配研究[J].应用化工,2012,41(10):1678-1681.
- [16] 杨飞,代抒彤,夏雪,等.贯通多孔聚丙烯酸十八酯降凝剂对合成蜡油流变性影响[J].中国石油大学学报(自然科学版),2021,45(5):144-153.
- [17] 杨飞,李传宪,林名桢,等.含蜡原油降凝剂与石蜡作用机理的研究进展与探讨[J].高分子通报,2009,(8):24-31.
- [18] 张晓平,王廷勇,赵超,等.EVA/沥青质颗粒复合降凝剂改善长庆含蜡原油流变性[J].西安石油大学学报(自然科学版),2022,37(5):105-114.
- [19] 张红,沈本贤.原油加剂降凝的研究[J].化学通报,2007,70(1):73-76.
- [20] 杨文明,康凡,罗慎超,等.哈拉哈塘油田高含蜡原油降凝剂合成及性能研究[J].应用化工,2017,46(4):641-645. ■

中国科协发布 2024 重大科学问题、工程技术难题和产业技术问题

在第二十六届中国科协年会上,中国科协发布了 2024 重大科学问题、工程技术难题和产业技术问题。

十大前沿科学问题包括:情智兼备数字人与机器人的研究;以电-氢-碳耦合方式协同推进新能源大规模开发与煤电绿色转型;对多介质环境中新污染物进行识别、溯源和健康风险管控;作物高光效的生物学基础;多尺度非平衡流动的输运机理;实现氨氢融合燃料零碳大功率内燃机高效燃烧与近零排放控制;中国境内发现的古人类是否为现代中国人的祖先;通过耦合与杂化实现柔性材料的功能涌现;人类表型组微观与整体的复杂关联及其机制解密;肿瘤微环境中免疫抑制因素与免疫疗法的互作及机制研究。

十大工程技术难题包括:工业母机精度保持性的快速测评;大尺寸半导体硅单晶品质管控理论与技术;高地震烈度区复杂地质条件下高拱坝的安全可靠性研究;冰巨星及其卫星就位探测飞行器技术研究;介科学支撑多相反应器从实验室到工业规模的一步放大;深远海海上综合能源岛建设关键问题研究;空间多维组学领航下一代分子病理诊断革新;基础设施领域自主工程设计软件问题;以高通量多模态的方式实现脑机交互;通过高效温和活化转化及大规模

利用二氧化碳实现生态碳平衡。

十大产业技术问题包括:通过精准化学实现药物和功能材料的绿色制造;采用清洁能源实现低成本低碳炼铁;云网融合技术在卫星互联网中的应用;基于数字技术的碳排放监测方法研究;自主可控高性能 GPU 芯片开发;饲料原料豆粕玉米替代的产业化关键技术突破;构建珍稀濒危中药材的繁育技术体系及其可持续开发利用;高端芯片制程受限背景下实现高速大容量光传输技术可持续发展的路径;应用 AI 眼底血管健康技术促进相关代谢疾病分级诊疗;基于 CTCS 的市域铁路移动闭塞系统的突破。

今年的征集发布活动共收到 102 家全国学会、学会联合体、企业科协 and 高校科协推荐的 597 个问题难题,涵盖数理化学基础科学、地球科学、生态环境、制造科技、信息技术、先进材料、资源能源、空天科技、农业科技、生命健康等十大领域。共有 129 位院士专家经过初选、终选等环节,严格评议把关,最终选出十大前沿科学问题、十大工程技术难题和十大产业技术问题。据了解,中国科协将持续关注发布的问题难题,引导广大科技工作者聚焦问题难题集智攻关,为培育新质生产力汇聚强大科技力量,不断夯实高质量发展的科技支撑。

(光明日报)