

文章编号:1006-396X(2023)04-0075-06

投稿网址: <http://journal.lnpu.edu.cn>

新型聚胺破乳剂的合成与应用

魏 强^{1,2}, 刘少鹏^{1,2}, 徐 超^{1,2}, 王 晶^{1,2}, 李 军^{1,2}

(1. 中海油(天津)油田化工有限公司, 天津 300452; 2. 中海油能源发展股份有限公司 工程技术分公司, 天津 300452)

摘 要: 渤海某油田应用非离子聚醚清水剂后,下游终端处理厂原油脱水难度增大,外输原油含水率频繁超标。通过探究非离子聚醚清水剂对原油脱水效果的影响,分析了终端处理厂原油脱水困难的原因。结果表明,常规聚醚类破乳剂无法处理此类原油;以二甲胺、十二烷基二甲基叔胺、环氧氯丙烷为原料合成聚胺,以多乙烯多胺为交联剂合成聚胺破乳剂,加注该破乳剂 80 mg/L 后,可将外输原油含水率降至 0.5% 以内,原油静置脱水时间从大于 120 h 降至 48 h 以内,有效解决了终端处理厂外输原油含水超标的问题。

关键词: 聚胺破乳剂; 非离子聚醚清水剂; Zeta 电位; 乳化液; 吸附; 稠油

中图分类号: TQ325;TE39 **文献标志码:** A **doi:**10.12422/j.issn.1006-396X.2023.04.011

Synthesis and Application of a Novel Polyurethane Demulsifier

Wei Qiang^{1,2}, Liu Shaopeng^{1,2}, Xu Chao^{1,2}, Wang Jing^{1,2}, Li Jun^{1,2}

(1.CNOOC Ener-Tech Oilfield Chemical Company, Ltd., Tianjin 300452, China; 2.CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin 300452, China)

Abstract: After the application of a non-ionic polyether clear water agent in an oilfield in the Bohai Sea, the difficulty of dewatering crude oil in the downstream terminal treatment plant increased, and the water content of the outgoing crude oil frequently exceeded the standard. The Effect of nonionic polyether water clarifier on crude oil dehydration was researched, the reasons of difficulty in dewatering were analysed, and the emulsion could not be treated by conventional polyether demulsifier. Polyamines were synthesised from dimethylamine, dodecyl dimethyl tertiary amine and epichlorohydrin, while polyethylene-polyamines were used as cross-linking agents to synthesise polyamine copolymer emulsion breakers. The emulsion breaker can reduce the water content of the external crude oil to less than 0.5% at a concentration of 80 mg/L, and reduce the static dewatering time of the crude oil from more than 120 h to less than 48 h. This effectively solves the problem of excessive water content in the external crude oil of the terminal treatment plant.

Keywords: Polyamine demulsifier; Nonionic polyether water clarifier; Zeta potential; Emulsion; Adsorption; Heavy oil

海上某油田自 2010 年开始大规模实施疏水缩合型部分水解聚丙烯酰胺驱油措施,近年来油井产出液中聚丙烯酰胺质量浓度升高到 80 mg/L 以上,且油水分离困难、污水处理难度大、黏弹性油泥多、注水水质超标等问题逐渐成为制约海上油田聚驱推广应用的主要瓶颈^[1-3]。为解决聚驱油田含聚污水处理和黏弹性油泥问题,海上聚驱油田开始逐步将阳离子型清水剂更换为非离子聚醚类清水剂,最大限度地

水中并重新回注地层,避免与阳离子清水剂反应生成黏弹性油泥而堵塞污水处理设备,有效提升了污水处理效果^[4-5]。非离子聚醚类清水剂在上游生产平台应用后,输送至下游终端处理厂的原油脱水难度增大,为保证终端处理厂外输原油含水率小于 1.0%,终端处理厂原油静置脱水时间从 48 h 延长到 120 h 以上,造成原油库存积压严重,外输原油含水率频繁超标。

油田常用的破乳剂主要为多元醇嵌段聚醚、多

收稿日期:2022-06-02 修回日期:2022-07-06

基金项目:中海油能源发展股份有限公司科技重大专项(HFZDZX-GJ2020-01-04)。

作者简介:魏强(1977-),男,博士,高级工程师,从事油田化学研究及生产应用方面的研究;E-mail:weiqiang@cnooc.com.cn。

通信联系人:刘少鹏(1987-),男,硕士,高级工程师,从事油田化学及提高采收率方面的研究;E-mail:liushaopeng239@163.com。

乙烯多胺嵌段聚醚和酚胺树脂嵌段聚醚破乳剂^[6]。但是,加注高质量浓度的非离子聚醚清水剂,导致输往终端处理厂的低含水率原油乳状液稳定性增强,常规破乳剂难以将稳定的含聚乳状液破乳,造成终端处理厂外输原油含水率超标。为了明确非离子聚醚类清水剂对含聚稠油脱水效果的影响,需要对非离子聚醚清水剂作用后的油水乳状液的稳定性进行分析,为开发超低含水率原油快速破乳的破乳剂提供重要依据。

1 实验部分

1.1 仪器和药品

Zetasizer Nano ZS 纳米粒度及 Zeta 电位分析仪,英国 Malvern 公司;TENS OR-27 型傅里叶红外光谱测定仪,德国 Bruker 公司;TX-500C 界面张力仪,美国 Bowing 公司;FA25 型高速剪切乳化机,德国 Fluko 公司;TW-20 型恒温水浴锅,德国 JULABO 公司;VO200 真空干燥箱,德国 Memmert 公司;MS3045/01 电子天平,梅特勒托利多科技(中国)有限公司。

二甲胺溶液,质量分数为 33%,上海诺泰化工有限公司;十二烷基二甲基叔胺、多乙烯多胺、环氧氯丙烷、氢氧化钾,上海易恩化学技术有限公司;破乳剂 SP169、破乳剂 BP169、破乳剂 AE8051、破乳剂 PR-7525、破乳剂 TA-1031、非离子聚醚清水剂 A,中海油(天津)油田化工有限公司;煤油,中石化天津分公司销售公司;新鲜混输海管出口原油样品(50℃地面原油密度为 951.2 kg/m³,60℃地面原油黏度为 934.2 mPa·s,蜡质量分数为 2.45%,沥青质质量分数为 9.77%,胶质质量分数为 20.23%,部分水解聚丙烯酰胺质量浓度为 90.5 mg/L)、新鲜井口未加药原油样品(50℃地面原油密度为 955.8 kg/m³,60℃地面原油黏度为 1 105 mPa·s,蜡质量分数为 2.27%,沥青质质量分数为 9.35%,胶质质量分数为 20.10%,部分水解聚丙烯酰胺质量浓度为 82.4 mg/L),由渤海某聚驱稠油油田提供^[7]。

1.2 原油脱水的影响分析方法

首先,研究非离子聚醚清水剂与含聚稠油作用后形成乳状液的稳定性。通过电泳法考察由非离子聚醚类清水剂配制的乳状液的 Zeta 电位;将配制好的乳状液溶于煤油并过滤,取过滤后清液中的上层油相配制质量分数为 10.00% 的模拟油,取过滤后清液下层水相与去离子水配制质量分数为 10.00% 的模拟水;将配制好的模拟油与模拟水按体积比为 1:1 混合,使用乳化机以 5 000 r/min 的转速剪切 2 min,配制不同乳状液样品;将该乳状液样品

在常温下放置 24 h,使用 Zeta 电位分析仪测定乳状液样品在 60℃下的界面 Zeta 电位^[8-9]。

其次,研究市售常规聚醚类破乳剂对海管出口原油乳状液稳定性的影响,观察常规聚醚类破乳剂能否改变乳状液的稳定性。

1.3 破乳剂性能评价方法

渤海某聚驱稠油油田海管出口新鲜油样含水率约为 5.0%,依据石油天然气行业标准 SY/T 5281—2005《破乳剂使用性能检验方法(瓶试法)》^[10],对原油进行脱水评价实验,考察 65℃下加注不同破乳剂后的乳化原油在不同时间内的脱水体积。

1.4 破乳剂的制备

海管出口原油中部分水解聚丙烯酰胺浓度高,经过海管输送后,原油乳化程度增加,导致常规聚醚类破乳剂对该原油的脱水效果较差。为了加快原油脱水速度,合成高阳离子度聚胺类破乳剂,以实现快速沉降脱水。

首先,将一定量的二甲胺溶液、十二烷基二甲基叔胺、蒸馏水倒入带有冷凝管的四口烧瓶中,放入恒温 30℃的水浴中搅拌 20 min;在连续搅拌的条件下逐滴滴加环氧氯丙烷,滴加结束后,在 30℃下反应 3~4 h;在交联阶段加入一定量的多乙烯多胺,继续搅拌,缓慢升温至 70℃,恒温反应 5 h 后降温、出料,得到支化聚胺破乳剂^[11-14]。

2 结果与讨论

2.1 非离子聚醚类清水剂对原油脱水的影响分析

渤海某聚驱油田原油系统加注 80 mg/L 非离子聚醚清水剂 A,污水系统加注 220 mg/L 非离子聚醚清水剂 A,将污水系统回收的含有大量非离子聚醚清水剂 A 的老化油回掺到外输原油中,再经海管输送到下游终端处理厂,进一步脱水至原油含水率低于 1.00% 后外输。

表 1 为加注乳状液样品的 Zeta 电位。由表 1 可知,未加药的乳状液 Zeta 电位绝对值为 64.60 mV;随着非离子聚醚清水剂 A 加注质量浓度的升高,乳状液的 Zeta 电位绝对值呈现先减小后增大的趋势;当非离子聚醚清水剂 A 加注质量浓度在 50~100 mg/L 时,能够有效降低 Zeta 电位绝对值,降低乳状液稳定性,使乳状液分散相中油珠聚并的几率增大,起到破乳作用;当非离子聚醚清水剂 A 加注质量浓度大于 100 mg/L 时,乳状液的 Zeta 电位绝对值增大。这是因为具有表面活性的非离子聚醚清水剂 A 的乳化作用开始占据主导,使油水乳状液中油珠之间的静电斥力增大,油水分离难度增大,乳

状液稳定性增强。

由表 1 还可以看出,上游平台污水系统回收的老化油 Zeta 电位绝对值高达 115.70 mV,是由于非离子聚醚清水剂 A 在老化油中大量聚集,因此老化油中的乳状液稳定性非常高;当老化油回掺到正常原油中时,经海管输送机械乳化后,海管出口原油乳化液的稳定性进一步增强,因此海管出口油样的 Zeta 电位绝对值达到了 80.45 mV。由此可知,渤海

某聚驱稠油油田混输海管出口含水原油静置脱水难度大的主要原因是高质量浓度的非离子聚醚清水剂 A 增强了原油乳状液的稳定性,乳状液自然沉降破乳时间增加。市售不同类型的聚醚类破乳剂 SP169、BP169、AE8051、PR-7525、TA-1031 均无法明显降低 Zeta 电位绝对值,说明常规破乳剂无法使高质量浓度非离子聚醚类清水剂乳化产生的乳状液破乳。

表 1 加注乳状液样品的 Zeta 电位
Table 1 The Zeta potential of emulsion

序号	油样	药剂名称	$\rho(\text{药剂})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	Zeta 电位/mV
1	未加药		0	−64.60
2	未加药	清水剂 A	50	−48.85
3	未加药	清水剂 A	100	−40.40
4	未加药	清水剂 A	150	−72.25
5	未加药	清水剂 A	200	−82.65
6	未加药	清水剂 A	250	−96.50
7	未加药	清水剂 A	300	−106.80
8	回收老化油		0	−115.70
9	海管出口油样		0	−80.45
10	海管出口油样	破乳剂 SP169	100	−86.20
11	海管出口油样	破乳剂 BP169	100	−80.75
12	海管出口油样	破乳剂 AE8051	100	−78.60
13	海管出口油样	破乳剂 PR-7525	100	−82.50
14	海管出口油样	破乳剂 TA-1031	100	−76.60

为了从宏观角度观察加注常规破乳剂后海管出口油样的脱水效果,检测了海管出口油样加注质量浓度为 100 mg/L 破乳剂后静置 72 h 净化油的含水率,结果如表 2 所示。

表 2 常规破乳剂的脱水效果
Table 2 The dehydration effect of conventional demulsifier

药剂名称	$\rho(\text{药剂})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	含水率/%
未加药	0	1.45
BH-01	100.0	1.35
SP169	100.0	1.72
BP169	100.0	1.68
AE8051	100.0	1.38
PR-7525	100.0	1.42
TA-1031	100.0	1.50

由表 2 可知,市售不同类型的常规破乳剂对含有大量乳状液的海管出口油样无明显脱水作用,需

要开发新型破乳剂解决超低含水率原油乳状液的破乳问题。

2.2 新型破乳剂脱水性能评价

取海管出口新鲜油样开展聚胺类破乳剂低含水率原油脱水性能评价实验。在每个带刻度玻璃瓶中加入 800 mL 含水率为 5.00% 的油样;分别加入二甲胺与十二烷基二甲基叔胺质量比不同的破乳剂,在 65 ℃ 的恒温水浴中静置;在不同时间点取上层净化油;采用离心法测定净化油的含水率,并与在油田中应用的破乳剂(BH-01)的破乳效果进行了对比,结果如表 3 所示。

由表 3 可知,在聚胺破乳剂合成环节中不加十二烷基二甲基叔胺(只有二甲胺与环氧氯丙烷、多乙烯多胺发生聚合反应)时,合成聚胺破乳剂的脱水速度比 BH-01 快,说明聚胺类破乳剂对超低含水率乳状液具有一定的破乳作用,但在 72 h 内无法将原油含水率降至小于 1.00%。

表 3 二甲胺与十二烷基二甲基叔胺的质量比对脱水速度的影响

Table 3 The effect of the mass ratio of dimethylamine and di-methyl-dodecyl amine on dehydration rate

序号	质量比	表面张力/(mN·m ⁻¹)	ρ(药剂)/(mg·L ⁻¹)	上层原油净化油含水率/%				
				24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
1	未加药	0	0	3.62	2.25	1.45	1.22	1.10
2	加注 BH-01	45.8	100.0	3.48	2.16	1.35	1.16	1.05
3	1:0	37.4	100.0	2.85	1.85	1.14	0.92	0.76
4	6:1	32.5	100.0	1.45	0.92	0.65	0.54	0.48
5	5:1	29.2	100.0	1.25	0.65	0.42	0.30	0.26
6	4:1	30.7	100.0	1.38	0.75	0.58	0.44	0.35
7	3:1	34.8	100.0	1.85	1.15	0.82	0.75	0.64
8	2:1	36.5	100.0	2.64	1.74	1.04	0.87	0.70
9	1:1	39.4	100.0	2.95	1.90	1.20	1.02	0.96

由表 3 还可以看出,当加入二甲胺的质量增大时,因在分子中引入了长链的疏水基团,增强了药剂在超低含水率原油中的分散速度,提高了对乳状液的破乳能力;随着十二烷基二甲基叔胺质量的增大,产物的破乳性能进一步提升,当二甲胺与十二烷基二甲基叔胺的质量比为 5:1 时,原油的表面张力最低,聚胺类破乳剂的脱水速度最快;当二甲胺与十二烷基二甲基叔胺的质量比由 5:1,调整为 4:1、3:1、2:1、1:1 时,随着二甲胺质量的减少,大量环氧氯丙烷与十二烷基二甲基叔胺发生反应,导致产物的分子量支化程度降低,引入大量疏水基团,降低了产物的阳离子度和表面活性,导致破乳剂的脱水速度降低。

综合以上分析可知,二甲胺与十二烷基二甲基叔胺的质量比 5:1 为最佳配比,合成的破乳剂能够将含水率为 5.00% 的海管出口乳化原油含水率在 48 h 降至 0.65%,达到外输原油的标准要求。

2.3 破乳剂的结构和性能表征

根据有机化合物的吸收峰频率和强度,对合成的聚胺破乳剂的红外光谱进行了分析,结果如图 1 所示。

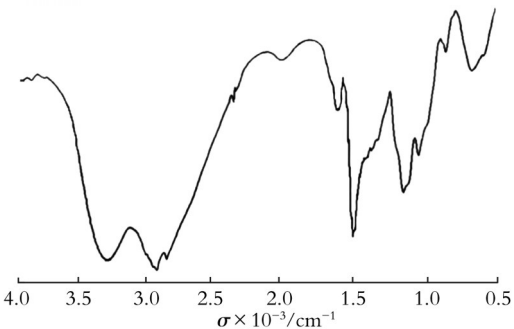


图 1 聚胺破乳剂的红外光谱

Fig.1 Infrared spectrogram of polyamine demulsifier

由图 1 可知,在 3 450 cm⁻¹处出现了 N—H 的特征峰,在 982 cm⁻¹处出现了弱的季铵盐吸收特征峰;在 1 478 cm⁻¹处出现了强的—CH₃吸收峰;在 1 266、852 cm⁻¹处出现了较强的环氧氯丙烷三元特征峰;在 722、759 cm⁻¹处未观察到 C—C 的特征吸收峰,说明环氧氯丙烷发生开环,与二甲胺、十二烷基二甲基叔胺发生了聚合反应,生成了聚胺共聚物。

利用 Zetasizer Nano ZS 纳米粒度及 Zeta 电位分析仪测定了加注聚胺类破乳剂后原油的 Zeta 电位。在海管出口原油乳状液中分别加入 BH-01 和合成的聚胺类破乳剂,再用高速剪切乳化机以 5 000 r/min 的转速搅拌 2 min,将乳状液在室温下放置 24 h,测定 60 ℃下样品的 Zeta 电位,结果如表 4 所示。

表 4 聚胺破乳剂对乳状液 Zeta 电位的影响

Table 4 The effect of polyamine on Zeta potential of emulsion

破乳剂	ρ(药剂)/(mg·L ⁻¹)	Zeta 电位/mV
未加药		-90.45
BH-01	100.0	-85.64
聚胺破乳剂	100.0	-12.50

由表 4 可知,由于聚胺类破乳剂具有较强的吸附架桥能力和一定的阳离子度,能够中和稳定乳状液的电负性,大幅降低乳状液的 Zeta 电位绝对值,破坏由非离子清水剂乳化作用产生的乳状液的稳定性,从而实现在低含水率原油中快速破乳的目的。电位中和产生的污泥相对松散,絮凝后沉降于储罐底部,后续通过储罐底部的吸污装置回收污泥,不会对成品油质量造成影响。

2.4 破乳剂质量浓度对脱水效果的影响

图 2 为静置 72 h 后净化油含水率随聚胺类破乳剂质量浓度的变化曲线。由图 2 可知,聚胺类破乳

剂的质量浓度对净化油含水率影响较大,随着聚胺类破乳剂质量浓度的增大,上层净化油的含水率不断降低;当聚胺类破乳剂质量浓度升高到80 mg/L时,继续提高聚胺类破乳剂的质量浓度,净化油含水率不再随着聚胺类破乳剂质量浓度的升高而降低。这说明当聚胺类破乳剂质量浓度在80~100 mg/L时,可以将原油含水率控制在0.46%,持续提高聚胺类破乳剂质量浓度,原油含水率不再继续降低。

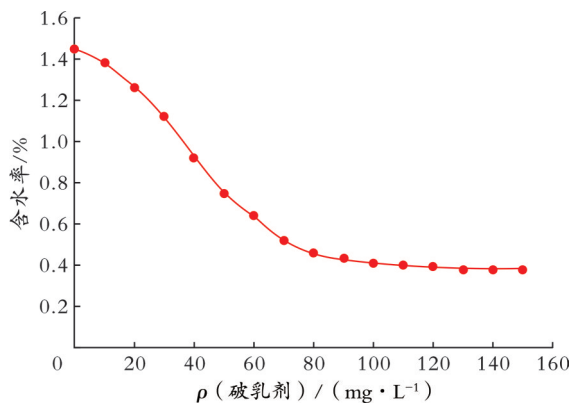


图2 静置72 h后净化油含水率随聚胺类破乳剂质量浓度的变化曲线

Fig.2 The change curve of water cut of purified oil with polyamine demulsifier concentration after standing for 72 hours

2.5 矿场试验效果

渤海某终端处理厂设有一级沉降罐、二级沉降罐和电脱水器共三级原油处理设备。将质量浓度为100 mg/L的破乳剂加注于一级沉降罐入口,经电脱水器处理后的合格原油进入成品油储罐进行临时储存,再定期通过外输油轮送往炼厂,终端处理厂日处理油量约为12 000 m³,海管出口原油含水率为3.00%~5.00%,温度为65℃,原油累计停留时间为48~96 h,外输原油含水率要求低于1.00%。图3为原油生产工艺流程图。

图4为外输原油含水率的变化曲线。由图4可知,上游平台应用非离子聚醚类清水剂后,下游终端处理厂原油脱水时间从48 h延长到120 h以上,造成终端成品油储罐库存积压严重,外输原油含水

率在0.95%~1.95%。由图4还可知,加注质量浓度为80 mg/L的聚胺破乳剂,可将外输原油含水率降至0.50%以内,原油静置脱水时间从120 h以上降至48 h以内,大大缓解了终端处理厂成品油库存压力。

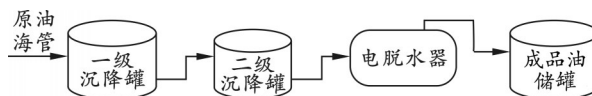


图3 原油生产工艺流程图

Fig.3 The flow chart of crude oil technological process of production

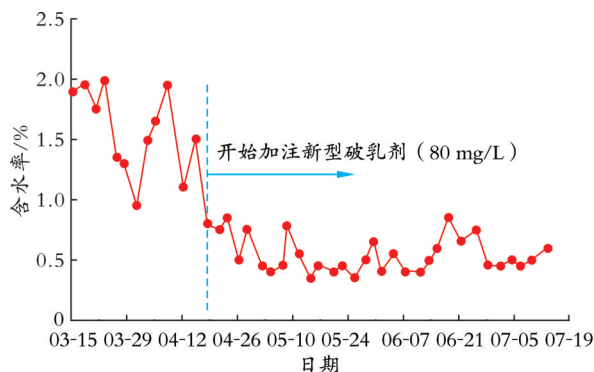


图4 外输原油含水率的变化曲线

Fig.4 The curve of water cut of output crude oil

3 结 论

(1)以二甲胺、十二烷基二甲基叔胺、环氧氯丙烷为原料合成聚胺,以多乙烯多胺为交联剂,得到聚胺破乳剂。其中,当二甲胺与十二烷基二甲基叔胺质量比为5:1时,破乳剂的脱水效果最佳。

(2)聚胺破乳剂能够大幅降低超低含水率稠油乳状液的Zeta电位的绝对值和净化油含水率,能够有效处理非离子聚醚类清水剂过量加入产生的乳状液,其脱水效果明显优于常规聚醚类破乳剂。

(3)矿场试验结果表明,在渤海某终端处理厂加注质量浓度为80 mg/L的新型聚胺破乳剂,可将外输原油含水率降至0.50%以内,有效解决外输原油含水率超标问题,在聚驱油田超低含水率原油深度脱水方面具有较好的应用前景。

参 考 文 献

- [1] 刘少鹏,徐超,苏伟明,等.海上聚合物驱油田产出液处理研究进展[J].油田化学,2021,38(2):374-380.
Liu S P, Xu C, Su W M, et al. Research progress on the treatment of produced fluid in offshore polymer flooding oilfields[J]. Oilfield Chemistry, 2021, 38(2): 374-380.
- [2] 王克亮,张伟,庄永涛,等.碱和表面活性剂用量对弱碱三元体系乳状液稳定性的影响[J].东北石油大学学报,2020,44(4):48-55.
Wang K L, Zhang W, Zhuang Y T, et al. Effect of alkali and surfactant concentration on the stability of weak alkali ASP composition emulsion[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2020, 44(4): 48-55.

- [3] 张卓见,李小玲,吴玉国.稠油乳液稳定性实验研究[J].辽宁石油化工大学学报,2021,41(6):25-29.
Zhang Z J, Li X L, Wu Y G. Experiment study on the stability of heavy oil emulsion[J]. Journal of Liaoning Petrochemical University, 2021, 41(6): 25-29.
- [4] 肖清燕,尹先清,孙培京,等.含聚含油污水处理剂 BHQ-402 的评价[J].油田化学,2013,30(4):597-599.
Xiao Q Y, Yin X Q, Sun P J, et al. A treatment agent BHQ-402 used for wastewater containing polymer and oil[J]. Oilfield Chemistry, 2013, 30(4): 597-599.
- [5] 翟磊,靖波,王秀军,等.海上油田含聚污水用清水剂性能评价方法[J].工业水处理,2016,36(10):15-19.
Zhai L, Jing B, Wang X J, et al. Methods for the evaluation of the performance of water clarifier applied to polymer-containing wastewater in offshore oilfields[J]. Industrial Water Treatment, 2016, 36(10): 15-19.
- [6] 刘少鹏,朱凯,胡玉东,等.含聚稠油高效破乳剂研究与应用[J].化学研究与应用,2018,30(2):243-248.
Liu S P, Zhu K, Hu Y D, et al. Research and application of high efficiency demulsifier for heavy oil containing polymer[J]. Chemical Research and Application, 2018, 30(2): 243-248.
- [7] 刘少鹏.海上含聚稠油深度脱水破乳剂研究[J].化学研究与应用,2020,32(6):1076-1082.
Liu S P. Study on deep dewatering demulsifier for heavy oil containing polymer in offshore oilfield[J]. Chemical Research and Application, 2020, 32(6): 1076-1082.
- [8] 徐明进,李明远,彭勃,等.Zeta 电位和界面膜强度对水包油乳液稳定性影响[J].应用化学,2007(6):623-627.
Xu M J, Li M Y, Peng B, et al. Effects of strength of interfacial film and Zeta potential on oil-in-water emulsion stability[J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2007(6): 623-627.
- [9] Adewunmi A A, Kamal M S. Performance evaluation of fly ash as a potential demulsifier for water-in-crude-oil emulsion stabilized by asphaltenes[J]. SPE Production & Operations, 2019, 34(4): 820-829.
- [10] 戴明,王春霞,彭伟,等.U-40 稠油破乳剂的研究与应用[J].油田化学,2010,27(4):436-438.
Dai M, Wang C X, Peng W, et al. Research and application of heavy oil demulsifier U-40[J]. Oilfield Chemistry, 2010, 27(4): 436-438.
- [11] 于晓爱,王洪国,许唯丽,等.新型絮凝剂聚环氧氯丙烷胺的制备及应用[J].现代化工,2015,35(7):93-96.
Yu X A, Wang H G, Xu W L, et al. Synthesis and application of polyamine flocculants for dye wastewater treatment[J]. Modern Chemical Industry, 2015, 35(7): 93-96.
- [12] 孙尧尧,王永军,李志鹏.聚环氧氯丙烷-胺聚合行为及絮凝性能评价[J].能源化工,2020,41(5):54-56.
Sun R R, Wang Y J, Li Z P. Polymerization behavior and flocculation performance evaluation of polyepichlorohydrin-amine[J]. Energy Chemical Industry, 2020, 41(5): 54-56.
- [13] 宫兆波,胡楚霄,严忠,等.页岩油压裂采出液低温生物破乳剂的制备与性能评价[J].油田化学,2022,39(3):504-509.
Gong Z B, Hu C X, Yan Z, et al. Development and evaluation of cryogenic microbial demulsification using in shale oil production fracturing fluid[J]. Oilfield Chemistry, 2022, 39(3): 504-509.
- [14] 张敬春,任洪达,俞天喜,等.压裂支撑剂研究与应用进展[J].新疆石油天然气,2023,19(1):27-34.
Zhang J C, Ren H D, Yu T X, et al. Research and application progress of fracturing proppants[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2023, 19(1): 27-34.

(编辑 王戡丽)