

引文：高松. FMES/OP-8 二元体系在防蜡剂配方中的应用[J]. 石油石化节能, 2023, 13 (3): 6-9.
GAO Song. Application of binary system with FMES and OP-8 in the formulation of wax inhibitor[J]. Energy Conservation in Petroleum & PetroChemical Industry, 2023, 13 (3): 6-9.

FMES/OP-8 二元体系在防蜡剂配方中的应用

高松（上海喜赫精细化工有限公司）

摘要：原油在开采过程中，需要加入防蜡剂预防管道系统蜡晶析出。阴离子型表面活性剂脂肪酸甲酯乙氧基化物磺酸盐（FMES）与非离子型辛基酚聚醚（OP-8）组成二元体系，能够降低清蜡工作液的表面张力，减弱蜡垢与筒壁的黏附力，有利于蜡垢的解析和脱离，并与溶剂有很好的协同增效作用，可以帮助溶剂沿积蜡的缝隙渗入内部，提高溶剂的溶蜡速率。将 FMES/OP-8 二元体系作为防蜡剂的表面活性剂组分，并与乙二醇单丁醚和粗苯复配，最终得到乳化型防蜡剂的配方为 FMES 10%，OP-8 10%，乙二醇单丁醚 10%，粗苯 16%，乙烯-醋酸乙烯酯 4%，纯净水 50%。将该配方的防蜡剂用于现场油田采油井的防蜡作业，加药运行 12 d 后，单井日产油上升，油井回压、电流明显下降，延长了热洗和检泵周期，清蜡效果较好。

关键词：FMES；OP-8；防蜡剂；剥离；粗苯

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1493.2023.03.002

Application of binary system with FMES and OP-8 in the formulation of wax inhibitor

GAO Song

Fine Chemical of Shanghai Xihe Co., Ltd.

Abstract: The crude oil, during the mining process, need to be added wax inhibitor to prevent precipitation of wax crystals in the pipeline system. The binary system composed of anionic surfactant fatty acid methyl ethoxylate sulfonate(FMES) and nonionic octylphenol polyether (OP-8) can reduce the surface tension of the working fluid of wax cleaning and weaken the adhesion between the wax scale and the cylinder wall, which is beneficial to the resolution and detachment of wax scale, and has a good synergistic effect with the solvent. It can help the solvent permeate into the interior along the gap of wax deposit, and improve the wax-dissolving rate of solvent. The binary system of FMES/OP-8 was used as the surfactant component of the wax inhibitor, and was compounded with ethylene glycol monobutyl ether and crude benzene. It is finally concluded that the formulation of the emulsified wax inhibitor was as follows: FMES 10%, OP-8 10%, ethylene glycol monobutyl ether 10%, crude benzene 16%, EVA 4%, purified water 50%. The wax inhibitor with formulation was used in the wax prevention operation of the oil recovery wells in the field. After 12 days of dosing operation, the daily oil production from a single well is increased. The return pressure and the electric current of oil well are decreased obviously. The hot washing and the cycle of checking pump have been extended with better wax cleaning results.

Keywords: FMES; OP-8; wax inhibitor; dissection; crude benzene

原油在开采上升过程中，随着地面温度和压力的降低以及原油中轻质气体组分的不断析出，当温度下降到一个低温临界点的时候，原油内部溶解的石蜡便以结晶体形式析出，聚集并沉积在深井泵的阀门、抽油杆、油管壁等设备上，出现所谓的结蜡现象^[1]。结蜡量较多会堵塞阀门，不能灵活的操作开关引起大量漏油，也会导致管道油流空间逐渐减小，抽油杆输送能力降低，降低油井产量，增大油井负荷，出现井卡、抽油杆断脱等生产事故。因此，及时预防蜡晶析出，延长清蜡周期是油井正常

作者简介：高松，工程师，2012年毕业于华东理工大学（石油化工专业），从事油田化学品的研发与应用，13761109069，138651@qq.com，上海市松江区泗陈公路 2268 弄佘山银湖二期 297 号，201620。

生产的重要保证^[2]。

苯、甲苯、二甲苯等芳香烃和一些环烷烃、长链烷烃与原油中的石蜡分子有相似的结构，多用来作为防蜡剂，可以注入到地下原油中，改善原油流动性，溶解输油管道上的蜡沉积。但是这类溶剂普遍存在密度小，难以沉降至油管尾部、仅能溶化表层蜡质等缺点，为了进一步提高溶剂的防蜡效率，在溶剂中加入表面活性剂可以提高防蜡体系的密度、分散力、渗透力从而加速蜡质结构的破坏，促进溶剂的溶蜡作用。FMES具有与蜡和沥青类类似的长碳链脂肪酸结构，对蜡质和沥青有明显的剥离效果^[3]，将剥离效果明显的FMES与乳化力优异的OP-8组成二元表面活性剂体系，能明显降低石蜡与管壁间的界面张力，加快有机溶剂进入石蜡内部，使大的蜡块分散为小颗粒脱离至原油中，从而提高防蜡效率^[4]。

1 实验

1.1 主要试剂与仪器

试剂与材料：FMES、无磷乙二胺二邻苯基乙酸钠（EDDHA-Na）、乙二醇丁醚、OP-8、石蜡切片、粗苯、乙烯-醋酸乙酯均为工业级。

仪器：小型摆洗机、YG091表面张力仪、OCMA-310实验室小型烘箱、电子天平AB 104、WSB-V倾点测试仪、SYD-673型石油凝点测定仪、JLY-3型原油动态清防蜡测定仪、PA-3K数字显示黏度计。

1.2 测试方法

1.2.1 凝固点与黏度

按照GB/T510—2018测试方法测试清蜡剂凝固点。按SY/T0520—2008《原油黏度测定旋转黏度计平衡法》测定原油黏度。

1.2.2 清蜡率

将熔点50℃石蜡、熔点62℃石蜡、沥青和石英砂粉（80目）按照质量比4：4：1：1混合，在70℃恒温水浴加热条件下搅拌均匀，将不锈钢片用石油醚彻底除净，室温晾干，用精密天平称其重量，将称量好的不锈钢试片浸入混合蜡中静置5 min，取出后垂直悬挂于空气冷却1 h并准确称重，将带蜡试片放入摆洗机，清蜡剂工作液保持温度40℃，摆动频率为100次/min，摆动时间5 min，取出试片，沥干室温干燥后称重，清蜡率的计算公式为：

石油石化节能 <https://gwyt.cbpt.cnki.net>

$$n = \left(1 - \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中： n 为清蜡率； m_0 为原始不锈钢片的质量，g； m_1 为不锈钢片覆盖油污后的质量，g； m_2 为不锈钢片清洗后的质量，g。

1.2.3 防蜡率

将58#石蜡、0#柴油、纯净水按照质量比2：7：1混合，在70℃恒温水浴加热条件下搅拌均匀制得含蜡油，将不锈钢片用石油醚彻底除净，室温晾干后放入70℃蜡乳液，自然降温至12℃左右，静置2 h，然后取出钢片烘干并称重。防蜡率的计算公式为：

$$W = \frac{m_3 - m_4}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中： W 为防蜡率； m_3 为空白实验（未加清防蜡剂）的结蜡量，g； m_4 为蜡乳液（加1%清防蜡剂后）的结蜡量，g。

2 结果与讨论

2.1 FMES与OP-8复配后的清防蜡效果

管道的蜡垢在生成过程中，会包裹不同电荷的杂质，如带正电荷的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} ，带负电荷的硬脂酸沥青类杂质，FMES属于阴离子型表面活性剂，带负电荷亲水基 $-\text{SO}_3^-$ ，可以与带负电荷的蜡垢产生静电排斥作用，与带正电荷的蜡垢产生静电吸引作用，两种静电作用都可将蜡垢松动并加速剥离脱落^[5]。阴离子类型表面活性剂在清防蜡过程中缺陷是乳化力不够，需要借助非离子表面活性剂的乳化作用削弱蜡垢与硬表面的结合力，因此将阴非离子复配是提高表面活性剂防蜡效果的最佳途径^[6]。OP-8乳化力优异，可以将蜡乳化成O/W型微乳颗粒，有助于FMES对蜡垢的进一步剥离，将乳化力优异非离子表面活性剂OP-8和分散剥离力优异的阴离子类表面活性剂FMES复配，并测试其清防蜡率效果，不同比例FMES与OP-8的清防蜡性能见表1。

表1 不同比例FMES与OP-8的清防蜡性能

Tab.1 Performance of wax removal and control of FMES and OP-8 with different proportions

项目	复配比例/%						
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]
FMES	100	80	66.6	50	33.4	20	0
OP-8	0	20	33.4	50	66.6	80	100
清蜡率	28.95	26.41	30.66	35.72	34.09	32.61	28.53
防蜡率	39.33	41.17	46.36	52.08	49.21	47.93	48.62

通过表1可知，单独使用FMES的清蜡效果要好于单独使用OP-8的效果，说明对于蜡垢的清洗，OP-8的乳化作用不如FMES的剥离和分散作用效果理想。原因是在温度40℃条件下，蜡以固体形式存在，乳化剂OP-8很难突破蜡质表层扩散进入蜡垢内部^[7]。在防蜡率方面，单独使用FMES的防蜡率不如OP-8，这说明OP-8在金属表面的成膜性能好于FMES，FMES与OP-8复配后防蜡率会有提高，具有明显的协同增效作用^[8]。当FMES和OP-8的用量比为1：1时清蜡率和防蜡率最高。

2.2 FMES/OP-8二元体系与溶剂协同防蜡作用

溶剂具有良好的溶蜡作用，考虑溶剂的密度、价格、清防蜡效果，选择乙二醇单丁醚和粗苯作为防蜡溶剂，其中乙二醇单丁醚闪点大于55℃，密度0.9 g/cm³，加入油井后可使管壁表面形成活性水膜层，使非极性的石蜡不易在管壁上黏附而沉积，并且乙二醇单丁醚是良好的油水互溶剂^[9]。粗苯为生产焦炭的副产品，价格低廉^[10]，主要组分是苯（50%~70%）、甲苯（10.5%~20%）和二甲苯（3%~6.2%），溶蜡速率大于450 g/min·m²。根据实验结果，OP-8和FMES按照1：1的用量比作为防蜡剂的主要表面活性剂成分，与不同比例的乙二醇单丁醚和粗苯复配，清防蜡效果见表2。

表2 三种不同比例原料的清防蜡率

Tab.2 Wax removal and control rate of three different proportions of raw materials

实验序号	FMES/OP-8：醇醚：粗苯	防蜡率/%	清蜡率/%
1 [#]	1：1：0.5	18.73	23.16
2 [#]	1：1：1	20.22	25.83
3 [#]	1：1：1.5	23.07	26.55
4 [#]	1：1：2	23.74	29.09
5 [#]	1：1：2.5	25.62	31.17
6 [#]	2：1：0.5	18.37	21.36
7 [#]	2：1：1	21.70	24.83
8 [#]	2：1：1.5	27.12	29.60
9 [#]	2：1：2.0	24.33	30.45
10 [#]	2：1：2.5	25.68	30.31

2.3 防蜡剂的配方

通过表2分析，当表面活性剂和乙二醇单丁醚的比例固定，粗苯占得比例越高，清蜡率相应越高，说明粗苯对除蜡率影响比较大；在防蜡性能方面，表面活性剂对防蜡性能影响较大，如7[#]、8[#]、9[#]、10[#]四组实验的防蜡效果均好于2[#]、3[#]、4[#]、5[#]四组实验。8[#]配比的防蜡率最高，其清蜡率与清蜡效果最好的9[#]与10[#]实验相差不多，因此将8[#]比例作为

最佳的防蜡剂配比，即FMES/OP-8二元表面活性剂体系、乙二醇单丁醚、粗苯溶剂油的复配比为2：1：1.5，其防蜡率为27.12%，清蜡率为29.60%。根据表2的实验结果最终确定的防蜡剂配方见表3。

表3 防蜡剂配方

Tab.3 Formulation of wax inhibitor

类别	名称	配比
表面活性剂	喜赫FMES	10%
表面活性剂	OP-8	10%
溶剂	粗苯	15%
溶剂	乙烯-醋酸乙酯	5%
稳定剂	乙二醇单丁醚	10%
其它	纯净水	50%

2.4 防蜡剂性能测试

根据1.2.2和1.2.3中所述测试方式，测试该防蜡剂在不同加药量下的清蜡率和防蜡率，并将防蜡剂与油井产出原油混合评价其降黏和降凝的效果，试验用原油取自利津县油井，主要参数为含蜡量25.1%，凝固点32℃，胶质含量22.17%，沥青含量4.33%，防蜡剂性能见表4。

表4 防蜡剂性能

Tab.4 Performance of wax inhibitor

加药浓度/(mg·L ⁻¹)	防蜡率/%	结蜡量/g	黏度/(mPa·s)	凝固点/℃
0	0	1.55	2 300	37
200	42.55	1.41	1 800	36
400	46.19	1.06	1 200	32
600	57.20	0.93	363	27
800	60.51	0.71	93	26
1 000	62.92	0.60	85	25

从表4可以看出，防蜡率随防蜡剂浓度增大而升高，当加药浓度增加到800 mg/L以后，防蜡率增加趋势变缓。加入防蜡剂的浓度超过200 mg/L后，原油凝固点和结蜡量开始显著下降，浓度越高，下降幅度越大。原油黏度随着防蜡剂的加药浓度的提高大幅度下降，原油黏度越低，筒壁结蜡的倾向越小，越有利于原油的采出和集输效率，当加药浓度增加到800 mg/L以后，黏度降低趋势变缓。通过分析，该油井防蜡剂的添加浓度应控制在800~1 000 mg/L。

2.5 现场应用

2021年6月—2022年3月在利津县采油厂东块对该清蜡剂进行了现场试验，实施2口井，采取周期加药方式，加药周期12 d，加药量60~100 kg，试验前平均日产油分别为1.73 t和0.71 t，加药运行

12 d后, 日产油分别增加 0.33 t 和 0.79 t, 油井的上冲程电流平均下降 10 A 以上、井口回压降低 20% 以上, 热洗和检泵周期延长 2 倍, 2 口油井均有不同程度的增产, 油井生产状况良好。

3 结论

1) FMES 的碳链长, 分散性能优异, 低温条件下对结蜡和沥青有良好的剥离效果, 与乳化性能优异的非离子表面活性剂 OP-8 组成二元体系具有明显的协同增效作用, 对结蜡的预防与去除效果理想。

2) 将阴离子 FMES 与非离子 OP-8 以 1:1 的用量组成二元体系有最佳的防蜡效果, 该二元表面活性剂体系能明显降低防蜡工作液的表面张力, 有利于将防蜡剂渗透入结蜡与管壁的结合处, 降低蜡在管壁的附着力, 延缓蜡垢的生长速率。

3) 将 FMES、OP-8、乙二醇单丁醚、粗苯、乙烯-醋酸乙烯酯、纯净水按照 FMES 10%, OP-8 10%, 乙二醇单丁醚 10%, 粗苯 15%, 乙烯-醋酸乙烯酯 5%, 纯净水 50% 的比例复配制得防蜡剂, 兼有水基和油基防蜡剂的特点, 具有安全性高、对人体无毒无害, 在防蜡的同时也具有清蜡的效果, 符合防蜡剂产品的发展趋势。

参考文献:

- [1] 黄粟. 注聚区块清防蜡工艺适应性评价[J]. 石油石化节能, 2021, 11 (4): 19-21.
HUANG Su. Evaluation on the adaptability of wax removal and control process in the injection of poly block[J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2021, 11 (4): 19-21.
- [2] 朱海涛, 尚涛. 英东油田油井加注清蜡剂维护试验及效益评价[J]. 石油石化节能, 2022, 12 (1): 7-10.
ZHU Haitao, SHANG Tao. Maintenance test and benefit evaluation of wax scavenger injection in Yingdong oilfield wells[J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2022, 12 (1): 7-10.
- [3] 唐安喜. 低泡沫环氧丙烷封端 FMEE 的合成与性能研究[J]. 精细与专用化学品, 2022, 30 (3): 38-41.
TANG Anxi. Synthesis and properties study of low-foam propylene oxide capped FMEE[J]. Fine and Specialty Chem-

icals, 2022, 30 (3): 38-41.

- [4] 张伟娜, 殷永泉, 冉德钦, 等. 阴-非离子表面活性剂复配修复石油污染的土壤[J]. 河北大学学报 (自然科学版), 2014, 34 (3): 279-283.
ZHANG Weina, YIN Yongquan, RAN Deqin, et al. Remediation of petroleum-contaminated soils by anionic-non-ionic surfactant compounding[J]. Journal of Hebei University (Natural Science Edition), 2014, 34 (3): 279-283.
- [5] 王琛. FMEE 与 FMES 的合成及其在退浆中的应用[J]. 印染, 2022, 48 (7): 41-44.
WANG Chen. Synthesis of FMEE and FMES and its application in desizing[J]. Dyeing and Finishing, 2022, 48 (7): 41-44.
- [6] 唐安喜. 二元催化剂在脂肪酸甲酯乙氧基化物 FMEE 合成中的应用[J]. 中国洗涤用品工业, 2022 (2): 34-39.
TANG Anxi. Application of binary catalysts in the synthesis of fatty acid methyl ester ethoxylates FMEE[J]. China Cleaning Industry, 2022 (2): 34-39.
- [7] 贾路航. 表面活性剂的复配及其在除油清洗中的应用[J]. 安徽化工, 2013, 39 (6): 37-40.
JIA Luhang. Compounding of surfactant and its application in oil removal cleaning[J]. Anhui Chemical Industry, 2013, 39 (6): 37-40.
- [8] 徐军. FMEE 与 FMES 的合成及在除蜡水配方中的应用[J]. 四川化工, 2022, 25 (4): 6-9.
XU Jun. Synthesis of FMEE and FMES and its application in the formulation of dewaxing water[J]. Sichuan Chemical Industry, 2022, 25 (4): 6-9.
- [9] 贾圣阳. 三元复合驱井筒结蜡特征研究及清防蜡现场试验[J]. 石油石化节能, 2022, 12 (7): 16-20.
JIA Shengyang. Study on the characteristics of wax deposition in the wellbore of ASP flooding and field test of wax removal and control[J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2022, 12 (7): 16-20.
- [10] 易定秀, 骆丛兵. 焦化粗苯系统的优化改造与实践[J]. 燃料与化工, 2021, 52 (4): 32-34.
YI Dingxiu, LUO Congbing. Optimization transformation and practice of coking crude benzol system[J]. Fuels & Chemical Processes, 2021, 52 (4): 32-34.

收稿日期 2022-10-11

(杜丽华)