

稠油自乳化降黏技术在临盘油田的应用

董元军¹, 张子玉¹, 韩 炜¹, 董双平¹, 王在华², 肖贤明³

(1. 中国石化 胜利油田分公司 临盘采油厂, 山东 临邑 251507; 2. 纳百科创(北京)技术开发有限公司, 北京 100102;
3. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640)

摘 要: 针对目前临盘油田稠油油藏开发中存在的采出液含水率高、产油量低、普通水驱采收率低等问题, 开展了稠油自乳化降黏吞吐技术研究。通过室内实验优选了最佳配方, 然后进行了温度、质量分数、矿化度和反应时间等因素对驱油效果影响的评价及物模驱替评价, 得出了适合临盘油田稠油低温高矿化度地层条件的降黏剂的使用条件。现场小型试验表明, NB-5034A 降黏剂能有效提高临盘稠油采收率。

关键词: 临盘油田; 稠油乳化; 降黏技术; 现场试验

中图分类号: TE357.43 文献标识码: A

Application of Self-Emulsification Viscosity Reducing Technology to Linpan Heavy Oilfield

DONG Yuanjun¹, ZHANG Ziyu¹, HAN Wei¹, DONG Shuangping¹, WANG Zaihua², XIAO Xianming³

(1. Linpan Production Plant, Shengli Oilfield Company, Sinopec, Linyi, Shandong 251507, China; 2. Nabai Kechuang (Beijing) Technology Development Co., Ltd, Beijing 100102, China; 3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

Abstract: Linpan heavy oil reservoir is dominated by conventional heavy oil with viscosity of 1 350~11 980 mPa·s (at 50°C). In view of such problems as high water cut, low production, low recovery, etc, the self-emulsification viscosity reducing technology was studied to solve these problems. The viscosity reducing agent was firstly optimized in the lab, then the influences of temperature, concentration, salinity and reaction time on the oil displacement efficiency and the physical model displacement were evaluated, and finally the viscosity reducing agent for this oilfield with low temperature and high salinity formation condition and its implementation condition was obtained. The small field tests show that MB-5034A agent can be used to effectively enhance the recovery of Linpan heavy oil.

Key Words: Linpan oilfield; heavy oil emulsification; viscosity reducing technology; field test

随着国内各大油田已进入注水开发中后期, 各种非常规油气藏越来越引起人们的重视, 其中稠油资源分布广泛, 有望成为 21 世纪我国重要的油气接替资源之一^[1]。临盘油田目前开发的稠油区块为中低黏度稠油, 50 °C 时的原油黏度 1 350~11 980 mPa·s, 主要油层和区块均面临采出液含水率高、产量低和普通水驱采收率低等问题。

稠油自乳化降黏是一种较新的稠油开采技术^[2], 被认为是一种效果理想、有前途的提高采收率方法^[3-5]。自乳化降黏驱油(Self-Emulsification Driving 以下简称 SED), 是针对普通稠油(50 °C 黏度小于 10 000 mPa·s) 的提高采收率技术, 其降黏、驱油机理是在一定温度条件下, 依靠地层渗流, SED 产品与地下油藏稠油发生自乳化作用, 或者将油包水型乳状液转变成水包油型乳状液, 大幅度降低稠油黏度, 增强稠油在地层中的流动性, 从而提高稠油采收率、采油速率及综合经济效益。

本文以典型临盘稠油为研究对象, 结合前人研究对自乳化驱油技术进行详细评价^[6-16]。

1 实验

1.1 实验材料与仪器

实验所用氯化钙、氯化镁和氯化钠均为分析纯。NB-5034A 驱油剂由纳百科创(北京)技术开发有限公司提供。

采用石英砂填充砂管作为模拟岩心, 以氮气测定其渗透率约为 460 mD。

采用氯化钙、氯化镁和氯化钙配制模拟地层水。

主要仪器: 旋转黏度计(Brookfield)和多功能岩心驱替装置。

1.2 实验方法

实验中以配制的模拟油砂进行驱油剂的洗油评价实验, 其中模拟油砂的配制方法如下: 称取一定量临盘油田稠油加入普通河砂中(粒径 0.075~0.15 mm), 搅拌均匀陈化, 稠油含量为 20%。

实验中, 分别从驱油剂实验、乳化实验和物模实验三方面对驱油剂进行了实验室评价, 具体方法如下。

收稿日期: 2014-07-21

修订日期: 2014-11-05

作者简介: 董元军(1971-), 男, 山东临邑人, 高级工程师, 石油工程, (Tel)0534-8863156(E-mail)dyjcyek@shou.com.

(1) 洗油实验 在20 g模拟油砂中加入50 mL驱油剂溶液,密封后放入一定温度烘箱中,一定时间后测量洗出油的质量,计算洗油率,评价洗油能力。

(2) 乳化实验 取70 g稠油于烧杯中,加入30 g一定浓度的驱油剂水溶液,密封后置于一定温度烘箱中,一定时间后取出用玻璃棒搅拌,观察乳化情况。

(3) 物模实验 ①用矿化度40 g/L的盐水配制质量分数为1%的NB-5034A水溶液,然后与同等盐度的盐水分别加入不同不锈钢罐中;②设定反应温度60 ℃,并预热24 h;③系统排空并连接管线;④向填砂管中注入盐水,计时并计算注入体积,注入速度为0.5 mL/min。注入完毕后,保温24 h,使填砂管充分饱和盐水;⑤向填砂管中注入稠油,计时并计算注入体积,注入速度为0.5 mL/min。注入完毕后,保温24 h;⑥向填

砂管中注入盐水,进行水驱,计时并记录出油体积,计算水驱采收率;⑦保持注入速度不变,关闭出口端,向填砂管中注入0.5 PV的NB-5034A水溶液。密闭焖24 h后,打开出口端,继续水驱至无油出,计算最终采收率。

2 驱油剂的实验室评价

2.1 不同驱油剂配方的对比

实验中对洗油实验和乳化实验进行了驱油剂配方的优化。使用本实验室合成的多种表面活性剂及商业表面活性剂为主要原料,配制了驱油剂NB-5034A(主要由烷基聚醚、烷基聚醚磺酸盐、长链烷基硫酸盐及部分助剂组成),并将其同多种其他配方驱油剂(CJ501, NIU-1, CJ304和CJ503)从洗油和乳化两方面进行了对比(图1,表1)。

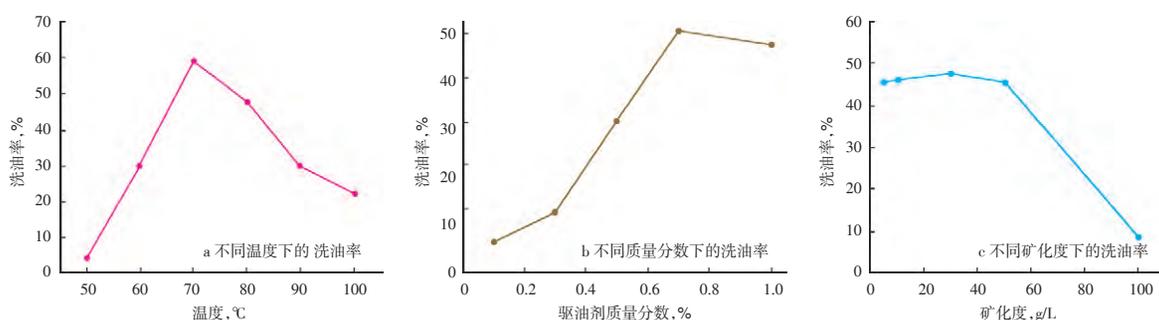


图1 驱油剂NB-5034A实验室评价结果

表1 不同驱油剂洗油率对比

驱油剂	洗油率	驱油剂	洗油率	驱油剂	洗油率
CJ501	41.50	NB-5034A	50.88	CJ503	5.75
NIU-1	39.75	CJ304	40.50	盐水	0

洗油实验时,实验温度50 ℃,实验时间48 h,驱油剂质量分数为1%,矿化度为10 g/L(氯化钙质量浓度为300 mg/L,其余为氯化钠)。

从表1可看出,盐水不具有洗油能力。其他5种驱油剂中,NB-5034A具有最优的洗油能力。

实验中还研究了上述5种驱油剂不同温度下对临盘稠油的乳化能力,实验用水矿化度同洗油实验,实验温度分别为50 ℃、60 ℃和70 ℃(表2)。

表2 不同驱油剂乳化能力对比

驱油剂	耐盐性能	不同温度下驱油剂乳化性能		
		50 ℃	60 ℃	70 ℃
NB-5034A	好	完全乳化	乳化快	乳化快
CJ501	较差	不能乳化	乳化	乳化快
CJ503	较差	不能乳化	乳化	乳化快
CJ304	较差	不能乳化	乳化	乳化快
NIU-1	好	完全乳化	乳化	乳化快

从表2可以看出,NB-5034A表现出最优的乳化性能。当矿化度提升至临盘油田实际矿化度(30 000 mg/L)

时,CJ501、CJ503和CJ304已经出现沉淀分层现象,逐渐丧失了乳化洗油能力。综合来看,NB-5034A是目前最优的驱油剂。

2.2 温度对洗油效果的影响

研究了不同温度(50 ℃、60 ℃、70 ℃、80 ℃、90 ℃和100 ℃)对NB-5034A洗油效果的影响(图1),实验中,驱油剂质量分数为0.5%,洗油时间为24 h,矿化度为30 g/L,其中氯化钙为1 g/L,氯化镁为1 g/L,其余为氯化钠(除特别注明,下同)。

从图1a可以看出,随着反应温度的进一步升高,洗油率逐渐升高,70 ℃下达到最高值,为59.25%。这是由于随着温度的升高,稠油黏度降低,洗脱更加容易。随着反应温度的进一步升高,洗油率又逐渐降低,100 ℃时的洗油率为22.25%。这是由于驱油剂含有非离子表面活性剂,随着温度的升高,表面活性剂活性下降,导致洗油率下降。综合来看,洗油时间为24 h时,70~80 ℃是合适的温度范围,结合后续研究,60~90 ℃亦可满足使用要求。

2.3 驱油剂质量分数对洗油效果的影响

驱油剂质量分数分别为0.1%、0.3%、0.5%、0.7%和1.0%,洗油温度60 ℃,反应时间为24 h,矿化度为30 g/L,具体结果如图1b所示。

随着洗油剂质量分数的升高,洗油率也逐渐升高。当质量分数为0.1%时,洗油率仅为2.25%,完全不能满足需要。当质量分数提高至0.7%时,洗油率达到50.75%,当质量分数进一步提升,洗油率没有明显变化。单纯从质量分数影响因素来看,质量分数应在0.7%以上。结合成本等实际情况,质量分数在0.5%以上即可,但最多不宜超过1.0%。

2.4 矿化度对洗油效果的影响

向每一份油砂中加入质量分数1%的NB-5034A水溶液50 mL,然后将其放入60℃烘箱中,24 h后取出分离上层油干燥称重,并计算洗油率。其中,矿化度分别为5,10,30,50和100 g/L,均由氯化钙、氯化镁和氯化钠混合配制,三者比例保持1:1:28。

从图1c可看出,随着矿化度的提高,洗油率先升后降,但矿化度为5~50 g/L时,趋势平缓。当矿化度提高至100 g/L时,洗油率急剧下降,降至5%左右。实际应用中,矿化度不宜超过50 g/L。

2.5 洗油时间对洗油效果的影响

洗油剂质量分数为0.5%,矿化度为30 g/L,洗油温度为60℃,反应时间分别为24 h,48 h,72 h和96 h,具体结果如图2所示。

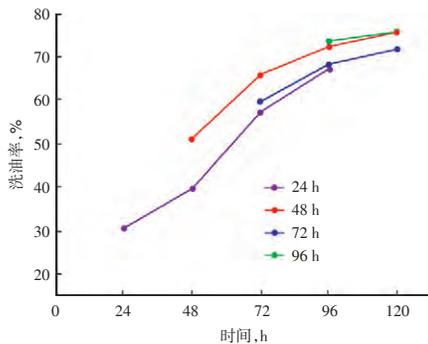


图2 不同洗油时间下NB-5034A的洗油率

反应时间24 h时,洗油率较低,为30.13%。随着反应时间的延长,洗油率逐渐升高,反应时间为96 h时,提高至73.50%,继续放置时,洗油率还会进一步升高。最终反应时间为120 h时,洗油率均可达到70%。由于油砂中油含量逐渐降低,油的洗脱越来越困难,故洗油率上升趋势平缓。

综合来看,洗油时间96 h是合适的,此时可以获得高于70%的洗油率,进一步提高洗油时间,洗油率提高有限。

2.6 乳化降黏实验

实验中还 对NB-5034A的乳化降黏性能进行了评价,具体如下:称取70 g临11-斜18稠油于烧杯中,然后向其中加入30 ml质量分数0.5%的NB-5034A水溶液,油水比7:3,密封后放入60℃烘箱中。24 h后

取出,用转子黏度计测量黏度。然后将其轻微搅拌,测量搅拌后黏度,并进行比较。

经过24 h静置后,部分油水分层。测量其黏度并同原始稠油样对比,黏度下降68.9%,由初始黏度972 mPa·s(60℃),下降至301.9 mPa·s,基本满足采油要求。轻微搅拌后,临11-斜18稠油可完全乳化,测试黏度30 mPa·s左右,降黏率高达96.9%。

2.7 物模实验

先对岩心进行水驱,后用驱油剂驱替(表3)。

从表3可以看出,NB-5034A可在水驱基础上,平均提高22.24%的采收率。

实验序号	水驱采收率	驱油剂驱替采收率	总采收率
1	25.39	23.19	48.58
2	28.14	20.37	48.51
3	27.55	22.64	50.19
4	27.28	22.75	50.03

3 临盘油田稠油自乳化降黏现场试验

3.1 驱油方案设计及实施

选取某稠油井开展现场小型试验,先期注入驱油剂2 t。现场施工作业参数及流程见表4。活性水现场配制,采用该区块热水(60℃)。

日期	NB-5034A 质量分数 (%)	NB-5034A 量 (t)	活性水 (m ³)	顶替水 (m ³)	压力 (MPa)
2013-08-13	6	1.8	30	5	13
2013-08-14	1	0.2	20	10	8~11
2013-08-15			焖井		
2013-08-16			焖井		
2013-08-17			开井生产		

3.2 试验结果分析

图3给出了试验前后日产油情况。从中可以看出,试验前,日产油量约为0.1 t,日产液量约为0.5 t。采取措施后,产液量和产油量均得到提升,日产油量达2 t左右(最高2.6 t),产液量10 t左右(最高11.9 t),较采取措施前有明显提高。后两者均有回落,日产油量维持在0.5 t,日产液量维持在7 t左右。在此期间共增油46.8 t。采取措施后,日产油量较措施前有较大提升,说明了驱油剂NB-5034A对提高临盘油田稠油采收率有效。

现场施工过程中,初始注入压力稳定在13 MPa,后期降为8 MPa,又缓慢升至11 MPa。压力的降低可能是因为注入的驱油剂对近井地带稠油起到了乳化作用和解堵的作用,从而降低了注入压力。

试验过程中,对采出液和采出油进行了分析。在

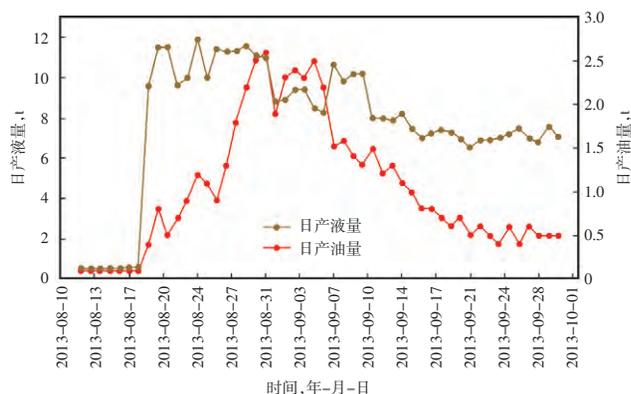


图3 试验前后日产液和日产油情况

油水分层后,重新搅拌,稠油部分乳化,乳化效果较实验室差。这说明驱油剂在地层中有一定的损失。试验中还对采出油黏度进行了测量(表5)。

表5 采出油黏度(50℃)分析 mPa·s

采样日期	采出油黏度	采样日期	采出油黏度
2013-08-19	902	2013-08-21	1 065
2013-08-20	1 080	2013-08-22	1 124

采出油的黏度较原始油样黏度(1 910 mPa·s)有明显降低,最高降黏率52.8%。说明驱油剂NB-5034A可以在临盘油田稠油地层条件下对其起到乳化降黏的作用,从而在试验初期明显提高了产液量和产油量。

4 结论

(1) 实验中对驱油剂配方进行了筛选优化,选取了NB-5034A为最优驱油剂配方。并将其同其他驱油剂进行了洗油和乳化对比,从综合性能来看,NB-5034A是其中适合临盘油田稠油的最优驱油剂。

(2) 物模实验表明,NB-5034A对临盘油田稠油具有良好的驱油能力,在水驱基础上,可提高20%以上的采收率。

(3) 现场试验表明,在试验初期,日产液量和日产油量均有显著提升,并且采出油的黏度明显降低。证明NB-5034A对提高临盘油田稠油采收率具有一定作用。

参考文献:

[1] Al-Mjeni R, Arora S, Cherukupalli P, *et al.* Has the time come for EOR? [J]. *Oilfield Review*, 2010, 22(4): 16-35.

[2] Hasan S W, Ghannam M T, Esmail N. Heavy crude oil viscosity reduction and rheology for pipeline transportation [J]. *Fuel*, 2010, 89(5): 1 095-1 100.

[3] Chiu Y C, Hwang H J. The use of carboxymethyl ethoxylates in enhanced oil recovery [J]. *Colloids and Surfaces*, 1987, 28(1): 53-65.

[4] Danley D E. Method for improving production of viscous crude oil [P]. US:5013462, 1991.

[5] Dos Santos R G, Bannwart A C, Briceño M I, *et al.* Physico-chemical properties of heavy crude oil-in-water emulsions stabilized by mix-

tures of ionic and non-ionic ethoxylated nonylphenol surfactants and medium chain alcohols [J]. *Chemical Engineering Research and Design*, 2011, 89(7): 957-967.

- [6] 曹均合,麻金海,郭省学,等. 乳化降粘剂 SB-2 乳化稠油机理研究 [J]. *油田化学*, 2004, 21(2): 124-127.
- Cao Junhe, Ma Jinhai, Guo Shengxue, *et al.* A mechanistic study on viscosity reduction of heavy crude oils through O/W emulsion formation with anionic surfactant SB-2 [J]. *Oilfield Chemistry*, 2004, 21(2): 124-127.
- [7] 程斌. 三次采油用石油磺酸钠的合成与分析 [D]. 大连:大连理工大学, 2004.
- Cheng Bin. Synthesize and analyse on sodium petroleum sulfonate for EOR [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2004.
- [8] 程秀莲,王 婷. 辽河油田超稠原油表面活性剂降粘的研究 [J]. *沈阳理工大学学报*, 2006, 25(1): 59-61.
- Cheng Xiulian, Wang Ping. A study on viscosity depression effect of Liaohe ultra-thick crude oil with surface active agent [J]. *Journal of Shenyang University of Technology*, 2006, 25(1): 59-61.
- [9] 崔桂胜. 稠油乳化降粘方法与机理研究 [D]. 东营:中国石油大学(华东), 2009.
- Cui Guisheng. The methods and mechanism for reducing viscosity of heavy oil by emulsifying [D]. Dongying: China University of Petroleum (East China), 2009.
- [10] 李干佐,陈 锋. 天然混合羧酸盐在三次采油和稠油降粘中的应用 [J]. *石油炼制与化工*, 2002, 33(9): 25-28.
- Li Ganzuo, Chen Feng. Application of natural mixed carboxylate on enhanced oil recovery and viscosity reducing for viscous crude oil [J]. *Petroleum Processing and Petrochemicals*, 2002, 33(9): 25-28.
- [11] 刘永永. 三次采油用表面活性剂的合成及应用研究 [D]. 西安:西北大学, 2011.
- Liu Yongyong. The synthesis and application of the surfactant for EOR [D]. Xi'an: Northwest University, 2011.
- [12] 吕敏捷. 含水稠油降粘技术研究 [D]. 东营:中国石油大学(华东), 2011.
- Lu Minjie. Research on viscosity reduction technique of water-cut heavy oil [D]. Dongying: China University of Petroleum (East China), 2011.
- [13] 秦 冰. 稠油乳化降粘剂结构与性能关系的研究 [D]. 北京:石油化工科学研究院, 2001.
- Qin Bing. Study on the relationship between the composition and performance of viscosity reducing agent used in the viscous crude recovery [D]. Beijing: Sinopec Research Institute of Petroleum Processing, 2001.
- [14] 秦 冰,彭 朴,景振华. 稠油开采用耐高温抗盐乳化降粘剂 [J]. *日用化学品科学*, 2000, 23(增1): 128-132.
- Qin Bing, Peng Pu, Jing Zhenhua. Viscosity-reducer used in heavy oil production with high thermal stability and strong salt resistance. [J]. *Detergent & Cosmetics*, 2000, 23(Suppl.1): 128-132.
- [15] Morrow L R. Enhanced oil recovery using alkylated, sulfonated, oxidized lignin surfactants [P]. US:5094295, 1992.
- [16] Zhu H, Luo J, Klaus O, *et al.* The impact of extensional viscosity on oil displacement efficiency in polymer flooding [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2012, 414(20): 498-503.