

稠油油藏氮气泡沫辅助蒸汽驱驱油效率实验及参数优化

王顺华

(中国石化胜利油田分公司 石油开发中心有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 蒸汽驱能大幅度提高稠油油藏采收率,但对于单一蒸汽驱而言,由于受边底水及储层非均质性等因素的影响,易发生汽窜,降低了蒸汽的波及体积,开发效果不理想。为此,设计了氮气泡沫辅助蒸汽驱驱油实验,对单一蒸汽驱和氮气泡沫辅助蒸汽驱的驱油效率进行了对比,并对氮气泡沫辅助蒸汽驱注入参数进行了优化研究。实验结果表明,单一蒸汽驱综合驱油效率为63.52%,氮气泡沫辅助蒸汽驱综合驱油效率为69.95%,比单一蒸汽驱提高了6.43%。当气液比为1:1,发泡剂质量分数为0.5%,含水率较低时,进行氮气泡沫辅助蒸汽驱开发效果较好。通过室内实验证实,氮气泡沫辅助蒸汽驱能够有效封堵高渗透条带,提高驱油效率,改善稠油油藏的开发效果。

关键词: 稠油 氮气泡沫辅助蒸汽驱 发泡剂 驱油效率 参数优化

中图分类号: TE357.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)03-0083-03

注蒸汽热力采油是开采稠油油藏最有效的方法^[1-2],由于受边底水及储层非均质性等因素的影响,蒸汽吞吐和蒸汽驱的开发效果有限,制约了稠油油藏的进一步开发^[3-5]。泡沫辅助蒸汽驱是在注蒸汽的过程中加入发泡剂,通过改善蒸汽驱的注入剖面,使蒸汽和热水均匀地在地层中推进,有效地抑制蒸汽的超覆和窜槽,提高热能的利用率,该技术已在矿场试验中取得了较好的开发效果^[6-16],应用前景广阔。笔者在室内进行了稠油油藏氮气泡沫辅助蒸汽驱驱油效率实验,并对注入气液比、发泡剂质量分数、注入时机等参数进行了优化研究,以期对氮气泡沫辅助蒸汽驱进行稠油油藏开发提供依据。

1 驱油效率实验

1.1 实验材料与条件

实验装置由模型系统(岩心模型和恒温箱)、注入系统(高压计量泵、保温油罐、蒸汽发生器等)、压力测量控制系统(精密压力表等)、出口计量系统(冷凝管、回压阀、计量装置等)组成(图1)。

实验用油为孤岛油田中二北区地面脱气原油。模拟地层水矿化度为5 400 mg/L,钙、镁离子质

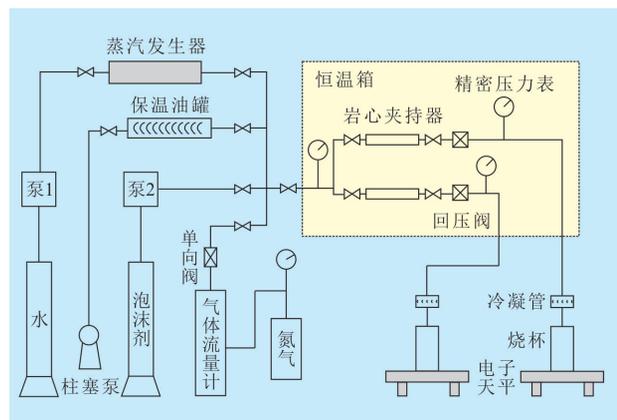


图1 氮气泡沫辅助蒸汽驱驱油效率实验流程示意

量浓度之和为120 mg/L。驱油剂质量分数为10%。注入气为纯氮气。填砂管模型长度为50 cm,单管模型渗透率约为 $2 \mu\text{m}^2$,双管模型中低渗透管渗透率约为 $1 \mu\text{m}^2$,高渗透管渗透率约为 $5 \mu\text{m}^2$ 。实验温度为 $65 \text{ }^\circ\text{C}$,实验压力为7 MPa,注入蒸汽干度为40%,在蒸汽驱采出程度达35%(含水率约为90%)后注入发泡剂。

模型制备方法如下:将模型竖起,上紧端盖的一端朝下,在岩心砂两端加一层孔径为0.045 mm的不锈钢筛网。将岩心砂分成若干等份陆续装入,并用橡皮锤不断向下敲击夯实。装满后,上紧端盖。

收稿日期:2013-02-25。

作者简介:王顺华,男,高级工程师,博士,从事油气田开发方面研究。联系电话:13963369828, E-mail: wshunhual@qq.com。

基金项目:中国石化先导试验项目“孤岛中二北Ng5稠油化学蒸汽驱先导试验”。

1.2 实验步骤

实验步骤包括：①先将模型抽真空，在真空度达 133.3 Pa 后，连续抽真空 2~5 h，饱和实验用水，通过计算可得岩心的孔隙体积和孔隙度；②实施氮气泡沫辅助蒸汽驱，调整模型回压使其略低于实验温度下水的饱和压力，确保整个驱替过程为氮气泡沫辅助蒸汽驱；③使模型两端的压差不小于测定油相渗透率时的压差，按确定的驱替速度恒速驱替，记录时间、产油量、产液量、进出口压力、模型两端压差等参数；④见水初期，加密记录，并随产油量的不断下降，逐渐增加记录间隔时间，当含水率达到 99.5% 以上且压差稳定后，结束实验；⑤将实验数据代入公式计算驱油效率和含水率，其表达式分别为

$$E_D = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{oi}}{\rho_o} \right)}{S_{oi} V_p} \times 100\% \quad (1)$$

$$f_w = \frac{q_{wi}}{q_{li}} \times 100\% \quad (2)$$

式中： E_D 为驱油效率，%； q_{oi} 为任一时间间隔内的产油量，g； i 为记录时间间隔次数，其值为 1, 2, ..., n； ρ_o 为实验用油密度，g/cm³； S_{oi} 为岩心含油饱和度； V_p 为岩心孔隙体积，cm³； f_w 为含水率，%； q_{wi} 为任一时间间隔内的产水量，g； q_{li} 为任一时间间隔内的产液量，g。

1.3 实验结果分析

为了研究氮气泡沫辅助蒸汽驱的驱油效率，进行了单一蒸汽驱和氮气泡沫辅助蒸汽驱 2 个双管实验。气液比为 1:1，发泡剂质量分数为 0.5%，注入孔隙体积倍数为 0.5，转驱时机为含水率约为 90%。实验结果(图 2, 图 3)表明：单一蒸汽驱综合驱油效率为 63.52%，氮气泡沫辅助蒸汽驱综合驱油效率为 69.95%，驱油效率提高了 6.43%，且综合含水率下降幅度较大。单一蒸汽驱低、高渗透管模型驱油效率分别为 53.7% 和 71.0%，氮气泡沫辅助蒸汽驱低、高渗透管模型驱油效率分别为 63.29% 和 73.26%，可见氮气泡沫辅助蒸汽驱取得了相对较好的开发效果。这主要是由于蒸汽在高渗透多孔介质中通过孔隙时必须给予足够的压差使喉道处泡沫产生变

形和破裂，形成的高强度的泡沫液膜使汽相的流动能力急剧降低，从而使注汽压力升高，泡沫的流动阻力远远高于其在低渗透多孔介质中的流动阻力，并且发泡剂在地层孔道中产生泡沫后，占据孔隙空间，高强度的泡沫液膜形成巨大的段塞阻力，迫使以后注入的蒸汽转向未驱替带，使驱替剖面得以调整，发泡剂起到了很好的封堵调剖作用。

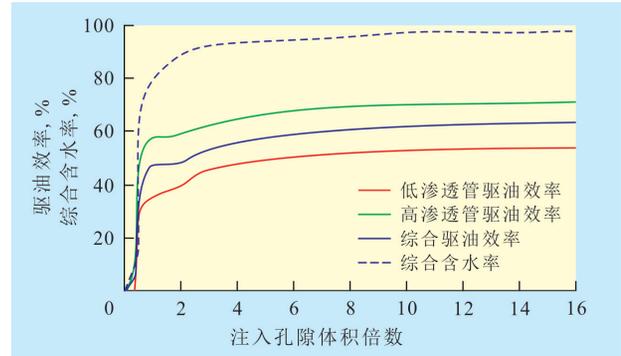


图 2 单一蒸汽驱实验结果

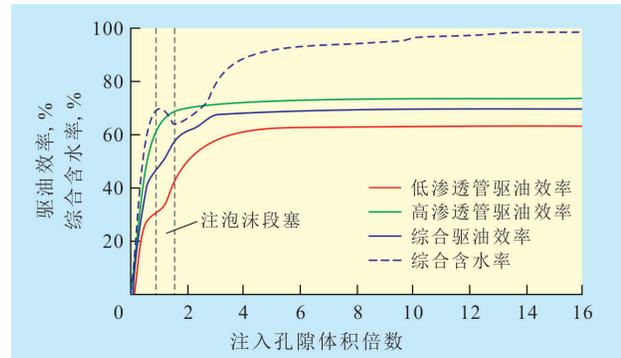


图 3 氮气泡沫辅助蒸汽驱实验结果

2 参数优化

2.1 气液比

分别进行了气液比为 1:4, 1:2, 1:1, 2:1 共 4 组氮气泡沫辅助蒸汽驱单管实验。其中发泡剂质量分数为 0.5%，注入孔隙体积倍数为 0.5。实验结果(表 1)表明：当气液比为 1:1 时，氮气泡沫辅助蒸汽驱驱油效率最高，达到 77.98%，同时含水率下降幅度大，表现出较好的封堵驱油效果。这主要是由于

表 1 氮气泡沫辅助蒸汽驱气液比优化结果

样品编号	渗透率/ μm^2	气液比	氮气泡沫辅助蒸汽驱开始时			氮气泡沫辅助蒸汽驱结束时			最终驱油效率，%
			注入孔隙体积倍数	含水率，%	驱油效率，%	注入孔隙体积倍数	含水率，%	驱油效率，%	
1	2.2	1:4	0.91	85.9	55.37	1.56	89.2	60.94	73.36
2	2.3	1:2	0.96	84.6	57.32	1.64	82.4	64.89	75.31
3	2.0	1:1	1.67	89.9	59.65	2.08	80.6	68.81	77.98
4	2.0	2:1	1.12	88.8	54.11	1.78	80.1	60.04	73.12

气液比较低时,起泡效果较差,不能形成有效的封堵;当气液比较大且超过一定程度时,气相中平均泡沫质量分数较低,泡沫稳定性减弱,阻力因子减小,封堵效果变差。因此最佳气液比为1:1。

2.2 发泡剂质量分数

分别进行了发泡剂质量分数为0.3%,0.5%,0.8%,1.0%时4组氮气泡沫辅助蒸汽驱单管实验。实验中,气液比为1:1,注入孔隙体积倍数为0.5。实验结果(表2)表明:随发泡剂质量分数的增加,驱

油效率升高。发泡剂质量分数为0.5%时的驱油效率比质量分数为0.3%时提高了6.88%,驱油效率升幅较大。当发泡剂质量分数为0.5%~1.0%时,驱油效率升幅较小,发泡剂质量分数为0.8%和1.0%时驱油效率接近。这主要是由于当发泡剂质量分数较低时,随发泡剂质量分数增大,泡沫封堵调剖作用较明显,驱油效果较好,随着发泡剂质量分数继续增大,泡沫对增加驱油效果的作用减弱。因此,考虑经济、技术等因素,发泡剂最佳质量分数为0.5%。

表2 氮气泡沫辅助蒸汽驱发泡剂质量分数优化结果

样品编号	渗透率/ μm^2	发泡剂质量分数,%	氮气泡沫辅助蒸汽驱开始时			氮气泡沫辅助蒸汽驱结束时			最终驱油效率,%
			注入孔隙体积倍数	含水率,%	驱油效率,%	注入孔隙体积倍数	含水率,%	驱油效率,%	
5	2.1	0.3	1.36	90.2	58.90	2.01	88.63	63.06	71.10
6	2.0	0.5	1.67	89.9	59.65	2.08	80.60	68.81	77.98
7	1.95	0.8	1.46	89.3	57.18	2.02	78.53	72.52	79.04
8	1.82	1.0	1.57	87.0	57.83	2.14	76.23	72.83	79.21

2.3 注入时机

在含水率分别为55%和90%左右时进行转氮气泡沫辅助蒸汽驱实验。气液比为1:1,发泡剂质量分数为0.5%,注入孔隙体积倍数为0.5。实验结果表明:在含水率为54.69%时转氮气泡沫辅助蒸汽驱的驱油效率为79.78%,高于含水率为89.9%时转氮气泡沫辅助蒸汽驱的驱油效率(77.98%)。这主要是由于注泡沫时机越晚,处于低产时期越长,注采压差越小,注泡沫建立压差的速度也会越慢,使得注泡沫后增油效果较差,因此,在含水率相对低时氮气泡沫辅助蒸汽驱效果相对较好。

3 结束语

设计了稠油油藏氮气泡沫辅助蒸汽驱驱油实验,并对单一蒸汽驱和氮气泡沫辅助蒸汽驱的驱油效率进行了对比。实验结果表明,由于泡沫在蒸汽驱过程中的封堵调剖作用,使得氮气泡沫辅助蒸汽驱相对于单一蒸汽驱有较高的驱油效率。氮气泡沫辅助蒸汽驱最佳注入参数包括:气液比为1:1,发泡剂质量分数为0.5%,含水率较低时转氮气泡沫辅助蒸汽驱。室内实验证实,氮气泡沫辅助蒸汽驱能够有效封堵高渗透条带,提高驱油效率,改善稠油油藏的开发效果。

参考文献:

- [1] 陈月明.注蒸汽热力采油[M].东营:石油大学出版社,1996.
[2] 刘文章.热采稠油油藏开发模式[M].北京:石油工业出版社,

1998.

- [3] 苏玉亮,高海涛.稠油蒸汽驱热效率影响因素研究[J].断块油气田,2009,16(2):73-74.
[4] 王胜,曲岩涛,韩春萍.稠油油藏蒸汽吞吐后转蒸汽驱驱油效率影响因素——以孤岛油田中二北稠油油藏为例[J].油气地质与采收率,2011,18(1):48-50.
[5] Muijs M, Keijzer P M, Wiersma R J. Surfactants for mobility control in high-temperature steam-foam application[C].SPE 17361, 1988.
[6] 张广卿,刘伟,李敬,等.泡沫封堵能力影响因素实验研究[J].油气地质与采收率,2012,19(2):44-46.
[7] 袁士义,刘尚奇,张义堂,等.热水添加氮气泡沫驱提高稠油采收率研究[J].石油学报,2004,25(1):57-65.
[8] 宫俊峰,曹嫣嫫,唐培忠,等.高温复合泡沫体系提高胜利油田稠油热采开发效果[J].石油勘探与开发,2006,33(2):212-216.
[9] 卢川,刘慧卿,卢克勤,等.浅薄层稠油油藏氮气泡沫调驱适应性研究[J].油气地质与采收率,2013,20(1):70-73.
[10] 鹿腾,侯健,孙建芳,等.化学辅助蒸汽驱受效剩余油分布特征研究[J].断块油气田,2011,18(6):754-757.
[11] 张思富,廖广志.大庆油田泡沫复合驱油先导性矿场试验[J].石油学报,2001,22(1):49-53.
[12] 魏新辉.化学蒸汽驱提高驱油效率机理研究[J].油气地质与采收率,2012,19(3):84-86.
[13] Maini B B, Ma V. Thermal stability of surfactants for steam-flood application[C].SPE 13572, 1985.
[14] 刘广友.孤东油田九区稠油油藏化学蒸汽驱提高采收率技术[J].油气地质与采收率,2012,19(3):78-80,83.
[15] Tang G Q, Firoozabadi A. Experimental foundation for relative permeability modeling of foam[J].SPERE,2000,3(2):179-185.
[16] Claridge E L, Prats M. A proposed model and mechanism for anomalous foamy heavy oil behavior[C].Toronto: International Heavy Oil Symposium, 1995:9-20.