

大庆萨北过渡带复合热载体吞吐适应性研究

赵明国¹, 蔡兴辰¹, 贾慧敏¹, 杨洪羽²

1. 东北石油大学石油工程学院, 大庆 163318
2. 中国石油长庆油田分公司第六采油厂, 榆林 718600

摘要 大庆萨北过渡带已进入高含水期并且产量递减速度较快, 在模拟地层条件下, 进行了不同焖井时间的复合热载体吞吐室内实验。通过对复合热载体吞吐的采收率、含水率、生产气油比等指标进行评价, 探索了该油藏进行复合热载体吞吐开采的可行性。结果表明: 复合热载体吞吐对于开采该油藏具有非常好的效果, 但其效果与焖井时间、吞吐周期有关。复合热载体吞吐焖井时间太短或过长效果都较差。在同样条件下, 复合热载体吞吐焖井时间增加, 含水率、气油比降低, 当焖井时间达到一定时间后, 含水率、气油比增加。随着吞吐周期增加, 采收率降低, 含水率、气油比增加。对于大庆萨北过渡带, 焖井时间为 150 s 时效果最好, 吞吐 3 个周期。

关键词 大庆萨北过渡带; 复合热载体吞吐; 焖井时间

中图分类号 TE348

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.27.011

Adaptability of the Composite Heat Carrier Huff and Puff in Daqing Sabei Transitional Zone

ZHAO Mingguo¹, CHA Xingchen¹, JIA Huimin¹, YANG Hongyu²

1. College of Petroleum Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China
2. No.6 Oil Production Plant, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Yulin 718600, China

Abstract The reservoir development in Daqing Sabei transitional zone is now in the high water cut period, and the production declines rapidly. Under such situations, the composite heat carrier huff and puff in-house experiments are carried out to achieve a better reservoir performance. Through the evaluation of the recovery rate, the water cut and the production gas-oil ratio, the feasibility of the composite heat carrier huff and puff in Sabei transitional zone is explored. It is shown that the composite heat carrier huff and puff enjoys a very good performance, which depends highly on the soak time and the huff and puff cycles. The over-time or too-short-time well soak will both result in a poor performance. Under the same conditions, the water cut and the production gas-oil ratio decline with the increase of the soak time. When the soak time goes over 150 s, the water cut and the production gas-oil ratio will increase. With the increase of the huff and puff cycle, the oil recovery, the water cut and the gas-oil ratio increase. The optimal soak time for the Daqing Sabei transitional zone reservoir is 150 s, with the highest recovery and the lowest production gas-oil ratio and the huff and puff cycles should be three or four periods and three cycles for the best result.

Keywords Daqing Sabei transitional zone; composite heat carrier huff and puff; soak time

大庆油田萨北过渡带实验区原油储量大, 目前该区块采油井综合含水率已超过 94%, 但采出程度只有 32.17%, 可采储量仍有较大部分未被动用。该区块含油面积 3.1 km², 埋藏深度 890~1129 m, 油层平均厚度 27.6 m, 平均孔隙度 27%, 平

收稿日期: 2014-05-23; 修回日期: 2014-06-08

基金项目: 国家科技重大专项(2008ZX05016-0014)

作者简介: 赵明国, 教授, 研究方向为低透油田开发、提高原油采收率等, 电子信箱: zhaomingguo1963@163.com; 蔡兴辰(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为低透油田开发、非烃类气体提高采收率技术等, 电子信箱: chaxingchen880712@163.com

引用格式: 赵明国, 蔡兴辰, 贾慧敏, 等. 大庆萨北过渡带复合热载体吞吐适应性研究[J]. 科技导报, 2014, 32(27): 66-69.

均渗透率 $0.35 \mu\text{m}^2$ 。该区块地层条件比较复杂,非均质性较强,曾开展过聚合物驱、蒸汽吞吐、烟道气吞吐等试验,但效果都不理想。为此对该区块运用了复合热载体吞吐提高采收率技术。由实验结果可知复合热载体吞吐累积采收率为 14.35%,比同实验条件下蒸汽吞吐和烟道气吞吐提高 3%~5%,复合热载体吞吐对于开采该区块具有非常好的效果。复合热载体的主要成分为蒸汽、氮气和二氧化碳^[1,2]。复合热载体提高采收率原理是由于其中含有大量氮气和部分二氧化碳,当注入油层后,可产生混相驱和非混相驱,由于二氧化碳含量较少,因此主要为非混相驱^[3-7]。蒸汽具有较大的焓值,携带热量很高,进入油层后变成热水,对原油及砂岩具有加热降黏作用,进而提高原油流动度。本次利用非均质岩心进行复合热载体吞吐实验,优选该区块复合热载体吞吐应用的各参数,以其为今后过渡带地区工业化推广复合热载体吞吐技术,扩大复合热载体的应用领域提供实践依据。

1 实验条件

现场脱气原油与煤油配制的模拟油,在地层温度为 45°C ,地层压力 11.91 MPa 的条件下黏度为 $14.1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。油田采出水,其矿化度为 6425 mg/L。复合热载体组成: $w(\text{N}_2)=75.97\%$, $w(\text{CO}_2)=11.34\%$, $w(\text{H}_2\text{O})=12.78\%$ 。

非均质管式岩心模型,为石英砂填充管,长 30 cm,直径 3.8 cm,模拟正韵律地层,设计渗透率为上层 $0.15 \mu\text{m}^2$ 、中层 $0.250 \mu\text{m}^2$ 、下层 $0.500 \mu\text{m}^2$,平均渗透率 $0.347 \mu\text{m}^2$,平均孔隙度 28.59%。

2 实验设备及流程

实验设备主要包括注入系统(蒸汽发生器、活塞容器、双缸恒速恒压泵)和采出系统(回压调节器、油气分离器、气体质量流量计)以及恒温箱、高温高压石英砂填充管、压力传感器等(图 1)。

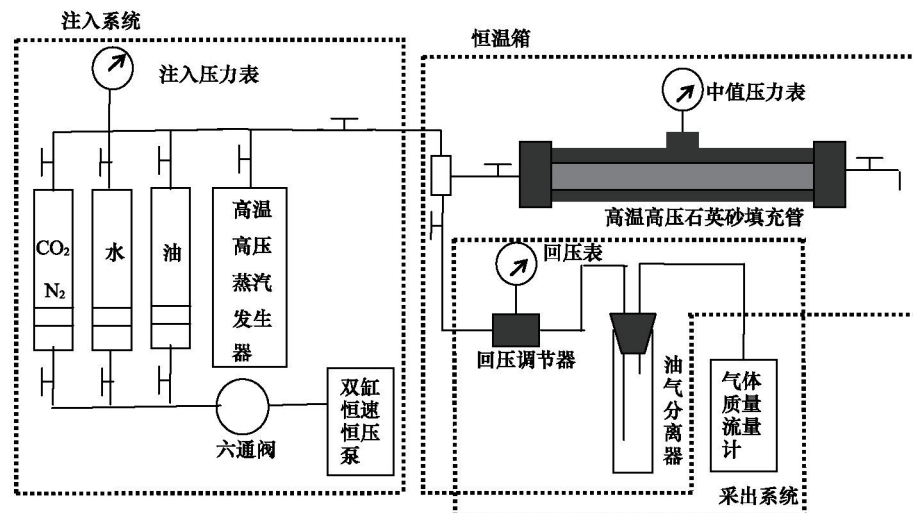


图 1 实验设备及流程

Fig. 1 Laboratory equipment and flow charts

3 实验方法

根据现场实际要求,并运用相似准则进行了换算,实验设计了 69.5、116、150、190、232 s^[8,9] 5 种不同焖井时间的复合热载体吞吐实验方案。

将岩心模型饱和地层水后恒温至地层温度 (45°C) 后饱和模拟油,使岩心中形成束缚水。关闭岩样出口端。在 280°C 、20.9 MPa 条件下,将 7.68 cm^3 复合热载体注入岩心,并保持一定时间(焖井时间 69.5 s),然后在控制放喷压力 (7.4 MPa) 下打开进口阀门,使油气吐出,直到岩样内压力降低到放喷压力而且没有流体流出为止,计量采出油、气、水的体积。在相同的注入条件和生产条件下连续进行 5 个周期的吞吐实验,

方案 1 结束。每个方案结束之后,更换具有相同条件的岩心模型,重复上述实验过程,分别进行 116、150、190、232 s 的焖井实验。

4 复合热载体吞吐驱油效果分析

4.1 采收率

由图 2 可知,同一生产周期,增加焖井时间,采收率增加,焖井时间达到 150 s 后,采收率降低。从图 3 可看出,焖井时间 150 s 时累计采收率最高,其次分别为 190、116 s。前 3 个周期 150 s 的累积采收率比 69.5、116、190、232 s 时分别高 3.82%、2.40%、1.49% 和 2.80%;比前 5 个周期分别高 4.99%、

2.96%、1.53%和3.93%。可见,复合热载体吞吐焖井时间太短或过长效果都比较差。这是因为在同样条件下,原油溶解气量与气体和原油的接触时间(焖井时间)有关,如果焖井时间太短,复合热载体中的氮气和CO₂不能充分溶解于油和水,大量气体聚集在油井周围,造成原油黏度降低、体积膨胀幅度小,采收率降低。如果焖井时间太长,气体虽然在原油中可充分溶解,但随着时间增加,复合热载体热损失将增大,因此采收率降低^[10,11]。

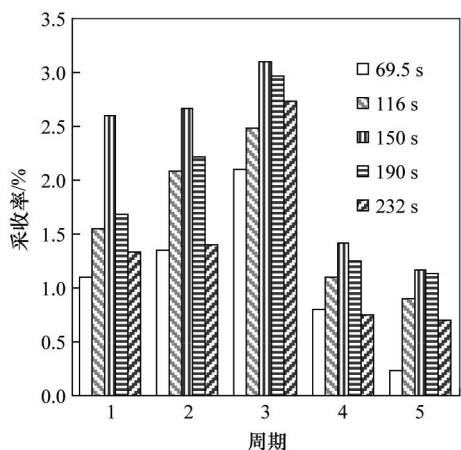


图2 采收率与焖井时间的关系

Fig. 2 Relationship between recovery rate and soak time

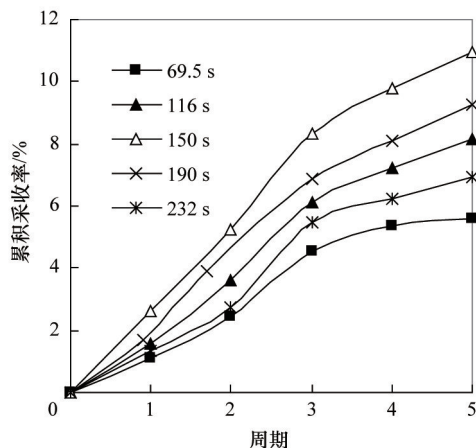


图3 累积采收率与焖井时间的关系

Fig. 3 Relationship between cumulative recovery rate and soak time

焖井时间为150 s时前3周期采收率相差很小,第2周期略高。其他4个焖井时间,随吞吐周期增加,采收率降低。5个焖井时间前3、4周期平均累积采收率分别占总采收率的75.66%和88.83%,可见采收率的贡献主要在前3周期。

在第1吞吐周期,复合热载体大多聚集在井筒附近,使井筒周围的原油受效,尽管波及范围较小,但热量损失比较少,原油黏度降低、体积膨胀幅度较大。随着周期增加,虽然受效范围越来越大,地层深部的油不断流向井筒附近,由于复

合热载体吞吐对原油轻质组分的萃取作用,原油中的轻质组分被萃取出,油井附近的油黏度增大,增加了油的流动阻力,在生产井附近形成亏空,注入的复合热载体集中在油井附近,采收率降低^[12]。

4.2 含水率

由图4可见,在同一吞吐周期下,随着焖井时间增加,含水率降低,当焖井时间达到150 s后,含水率增加。这是由于随着焖井时间增加,复合热载体中的水蒸气越容易形成水,产生液阻效应,阻止水的流动,含水率降低,焖井时间继续增加,复合热载体中热量损失越多,使更多的水蒸气形成水,这样使水变成可流动水越多,故含水率增加^[13,14]。

随着吞吐周期增加,含水率总体趋势上升。这是由于当吞吐周期增加时,地层温度逐渐升高,束缚水体积膨胀,增加了可流动水饱和度;此外复合热载体中的蒸汽在地层中的逐渐增加,也使含水率增加。

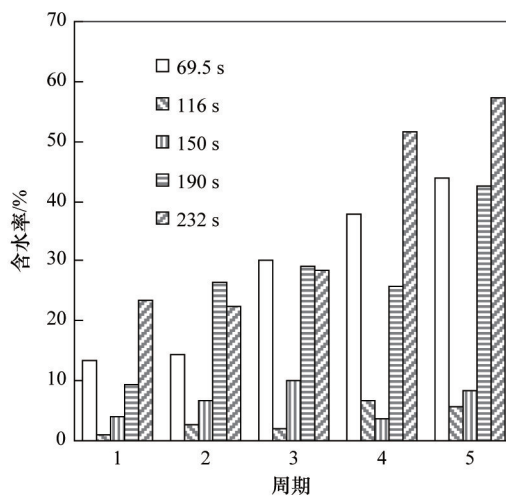


图4 含水率与焖井时间的关系

Fig. 4 Relationship between water cut and soak time

4.3 气油比

由图5可见,气油比随焖井时间变化规律性比较差,第1周期各焖井时间下气油比差别不大,150 s稍高。第2周期开始,随着焖井时间增加,气油比降低,达到一定焖井时间后,气油比增加。从5个周期各焖井时间的平均气油比来看,190 s的最低,其次为150 s。这是因为如果焖井时间太短,气体在原油中的溶解量就会减少,注入井附近气体饱和度过高,吞吐时大量气体返排,故生产气油比高;焖井时间太长,复合热载体逐渐向油层深部运移,由于油层深部的温度较低,水蒸气凝结成水,形成水锁,阻止油相生产井运移,气体大量产出,因此,气油比升高。

随着吞吐周期增加,气油比增加。前3个周期气油比增加幅度比较小,从第4个周期开始,气油比明显增加。因为随着吞吐周期的增加,生产井附近含油饱和度逐渐降低,气体饱

和度逐渐升高,采出的油量越来越少,而采出的气体却增加,因此生产气油比逐渐增加。

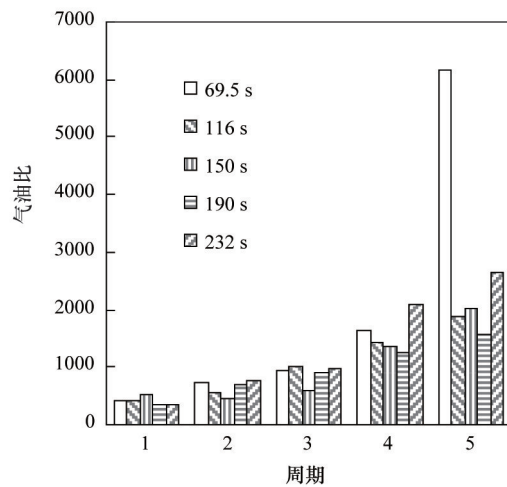


图5 气油比与焖井时间的关系

Fig. 5 Relationship between gas-oil ratio and soak time

5 结论

1) 复合热载体吞吐焖井时间太短或过长效果都较差。对于大庆萨北过渡带,焖井时间为150 s时,采收率最高,高于或低于该焖井时间,采收率降低。随着吞吐周期增加,采收率降低,采收率的贡献主要为前3周期。

2) 在同样条件下,复合热载体吞吐焖井时间增加,含水率降低,当焖井时间达到150 s后,含水率增加。随着吞吐周期增加,含水率上升。

3) 第1周期各焖井时间下气油比差别不大,第2周期开始,随着焖井时间增加,气油比降低,达到一定焖井时间后,气油比增加。随着吞吐周期增加,气油比增加。

参考文献(References)

- [1] 翁小红, 马哲斌, 肖见, 等. HYS油田复合热载体驱油先导试验[J]. 石油钻探技术, 2012,40(4): 111-114.
Weng Xiaohong, Ma Zhebin, Xiao Jian, et al. Pilot test for oil displacement with combined heat carrier in HYS oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(4): 111-114.
- [2] 姜瑞忠, 杨仁锋, 段志刚, 等. 复合热载体泡沫驱提高采收率研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2011, 19(4): 565-573.
Jiang Ruizhong, Yang Renfeng, Duan Zhigang, et al. Combined thermal carrier foam flooding to enhance the oil recovery[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2011, 19(4): 565-573.
- [3] 姜杰, 李敬松, 祁成祥, 等. 海上稠油多元热流体吞吐开采技术研究[J]. 油气藏评价与开发, 2012, 2(4): 38-40.
Jiang Jie, Li Jingsong, Qi Chengxiang, et al. Study on complex thermal fluids huff and puff technology in offshore heavy oil reservoir[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2012, 2(4): 38-40.
- [4] 张伟, 孙永涛, 林涛, 等. 海上稠油多元热流体吞吐增产机理室内实验研究[J]. 石油化工应用, 2013, 32(1): 34-36.
Zhang Wei, Sun Yongtao, Lin Tao, et al. Experimental study on

- mechanisms of the multi-fluid thermal recovery on offshore heavy oil [J]. Petrochemical Industry Application, 2013, 32(1): 34-36.
- [5] 彭元怀. 复合热载体泡沫驱数值模拟研究[D]. 东营: 中国石油大学, 2011.
Peng Yuanhuai. Study on numerical simulation about combined thermal carrier and foam flooding [D]. Dongying: China University of Petroleum, 2011.
- [6] 段志刚. 复合热载体泡沫驱室内实验及矿场数值模拟研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2006.
Duan Zhigang. Laboratory experiments and numerical simulation of composite heat carrier foam mine flooding[D]. Beijing: China University of Petroleum, 2006.
- [7] 付美龙, 熊帆, 张凤山, 等. 二氧化碳和氮气及烟道气吞吐采油物理模拟实验——以辽河油田曙一区杜84块为例[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(1): 68-70.
Fu Meilong, Xiong Fan, Zhang Fengshan, et al. Physical analogue experiment of CO₂, N₂ and flue gas stimulation for oil production in Du84 block, Shuyi District, Liaohe Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(1): 68-70.
- [8] 丁祖鹏, 罗艳艳. 均质油藏两相渗流三维定量物理模拟相似准则[J]. 油气井测试, 2014, 23(1): 1-5.
Ding Zupeng, Luo Yanyan. Similarity criteria of quantitative 3D physical simulation about two phase flow in heterogeneous reservoir[J]. Well Testing, 2014, 23(1): 1-5.
- [9] 滕起, 杨正明, 刘学伟, 等. 特低渗透油藏水驱油物理模拟相似准则的推导和应用[J]. 科技导报, 2013, 31(9): 40-45.
Teng Qi, Yang Zhengming, Liu Xuewei, et al. Similar criteria derivation for the physical simulation of water flooding in the plate model of ultra-low permeability reservoir and its applications[J]. Science & Technology Review, 2013, 31(9): 40-45.
- [10] 江夏. 盐间泥质白云岩油藏注氮气提高采收率技术[J]. 石油天然气学报, 2010, 32 (4): 294-297.
Jiang Xia. Argillaceous dolomite reservoir between salt nitrogen injection EOR technology[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(4): 294-297.
- [11] 陈民锋, 郎兆新, 莫小国. 超稠油油藏蒸汽吞吐参数优选及合理开发界限的确定[J]. 石油大学学报, 2002, 26(1): 39-43.
Chen Minfeng, Lang Zhaoxin, Mo Xiaoguo. Optimization of steam soaking parameters and determination of feasible develop limit for heavy oil reservoir[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2002, 26(1): 39-43.
- [12] 赵明国, 王东. 大庆油区芳48断块CO₂吞吐室内实验[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 89-91.
Zhao Mingguo, Wang Dong. Laboratory experiment of CO₂ stimulation in Fang48 fault block in Daqing Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(2): 89-91.
- [13] 王海妹, 张金功, 于晓飞, 等. 油气田开发过程中油气水的运移特征研究[J]. 内蒙古石油化工, 2009(10): 166-168.
Wang Haimei, Zhang Jingong, Yu Xiaofei, et al. Research on oil and gas field development process migration characteristics of water in the oil and gas[J]. Petrochemical Inner Mongolia, 2009(10): 166-168.
- [14] Scheidegger A E. 多孔介质中的渗流物理[M]. 王鸿勋, 译. 北京: 石油工业出版社, 1982.
Scheidegger A E. Porous media flow physics[M]. Wang Hongxun, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1982.

(责任编辑 赵业玲)