

注入温度对复合热载体吞吐效果影响

赵明国¹ 陈 栖^{1*} 贾慧敏¹ 杨洪羽²

(东北石油大学提高油气采收率教育部重点实验室¹, 大庆 163318;

中国石油长庆油田分公司第六采油厂², 定边 718600)

摘 要 针对大庆萨北过渡带,在模拟实际油藏条件下开展复合热载体吞吐室内试验研究。结果表明:该油田进行复合热载体吞吐可取得较好的开采效果。复合热载体吞吐中,随着注入温度增加,采收率、含水率增加,生产油气比降低。第3周期开始当温度达到280℃后,采收率开始下降;随着吞吐周期增加,采收率、含水率增加,生产油气比变化不大。三个周期后采收率、含水率降低,生产油气比增加。通过不同吞吐温度、五个周期的吞吐效果比较,复合热载体注入280℃的吞吐效果比较好,吞吐3周期。

关键词 大庆萨北过渡带 注入温度 火箭动力复合热载体 吞吐 周期

中图分类号 TE349; **文献标志码** B

所谓复合热载体是把燃料与N₂、热水、CO₂混合,进行燃烧,依靠燃料燃烧产生的高温将混合的水汽化,所产生的复合热载体。复合热载体注入油层后,由于水蒸汽具有较大的焓值,携带的热量很高,当其在油层中变成热水后,对原油具有降黏、原油膨胀作用^[1];同时,复合热载体中含有大量的氮气和二氧化碳气体,当其注入油层后,可产生混相驱和非混相驱,从而提高最终采收率^[2-5]。

复合热载体吞吐作为近年发展的提高原油采收率新技术,已在大庆萨北过渡带进行了现场试验,并取得了很好的效果。本文在模拟大庆萨北油田地质条件及现场注入参数的基础上,进行了不同温度复合热载体吞吐实验,优化复合热载体吞吐注入温度,以期为大庆萨北过渡带开发提供技术支持。

1 复合热载体吞吐室内研究

1.1 实验条件

油:按地层油黏度配制的模拟油。45℃下黏度为14.1 mPa·s;

水:油田采出水;

复合热载体摩尔组成为:N₂:75.97%, CO₂:11.34%, 水:12.78%;

岩心:非均质石英砂填充管。石英砂70~370目。岩心长度30 cm,直径3.8 cm,渗透率为 $150 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $250 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率 $346.57 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均孔隙度28.59%。

1.2 实验设备及流程

实验流程见图1。实验设备包括恒温箱(200℃)、岩心管(1)、回压阀(2)、油气分离器(3)、气体质量流量计(4)、手动泵(5)、蒸汽发生器(6)、压力传感器(7)、单向阀(8)、活塞容器(9)、高压恒速恒压泵(10)等。

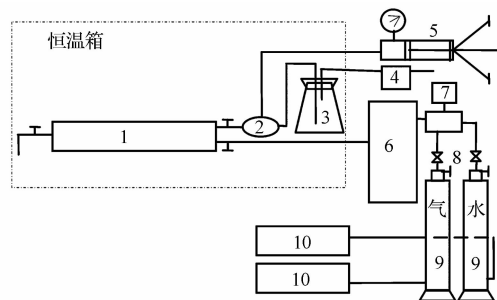


图1 复合热载体吞吐实验流程
Fig. 1 Composite heat carrier throughput experimental process

1.3 实验过程

将岩心模型饱和和地层水并恒温至地层温度,将模拟油注入岩心,直至流出液全部为油。将岩心内压力稳定在7.4 MPa,关闭岩心进口端,并使出口端回压保持为7.4 MPa;将260℃复合热载体在21 MPa下从岩心入口端注入1 785 cm³(标),关闭注入阀门,并焖井2.5 min,然后在控制放喷压力7.4 MPa下打开出口阀门,使油气吐出,直到岩心内压

2014年5月28日收到 国家科技重大专项(2008zx05016-004)资助
第一作者简介:赵明国(1963—),男,博士,硕士生导师。研究方向:提高油气采收率技术与低渗透油田开发技术。E-mail: zhaoming-guo63@163.com。

* 通信作者简介:陈 栖(1991—),女,硕士研究生。研究方向:提高油气采收率技术与低渗透油田开发技术。E-mail: 1024314792@qq.com。

力降低到放喷压力而且没有流体流出为止,计量油、水、气的体积。按上述实验过程,进行 5 个周期吞吐实验。

同样方法进行 280 ℃、300 ℃、320 ℃ 下复合热载体吞吐实验。

2 复合热载体吞吐驱油效果

2.1 采收率

从图 2 可见,随着注入温度增加,采收率逐渐增加。第 3 周期开始当温度达到 280 ℃ 时,采收率开始下降。从图 3 累积采收率曲线可见,前三周期除 260 ℃ 的累积采收率较低外,其余三个温度的累积采收率相差很小,第三周期累积采收率最多仅相差 0.10%,第四周期相差 0.48%。可见,达到一定温度后,尽管温度增加,地层油体积膨胀及黏度降低的幅度非常小,而且高温容易使地层油中的重质组分结焦^[6],从而降低地层的渗透率,因此使采收率降低。从本实验的采收率看,280 ℃ 的吞吐效果比较好。

随着吞吐周期增加,采收率增加,三个周期后,采收率降低。260 ℃、280 ℃、300 ℃、320 ℃ 四个温度前 2 周期累积采收率分别占总采收率 38.50%、39.15%、40.75% 和 42.97%;前 3 周期分别占 62.89%、62.26%、64.34%、65.51%;前 4 周期分别占 83.35%、84.60%、84.94% 和 83.71%。可见,复合热载体吞吐采收率的贡献主要是前 3~4 个周期。

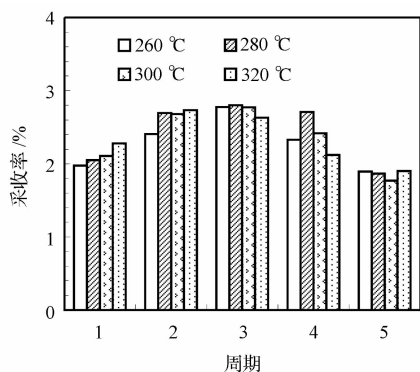


图 2 复合热载体吞吐各周期采收率

Fig. 2 Composite heat carrier throughput each cycle recovery

2.2 生产油气比

由图 4 可见,随着注入温度增加,生产油气比降低,温度达到 300 ℃ 后,汽油比变化非常小。这是由于温度升高,原油黏度降低的幅度减小,有利于复合热载体中的气体进入地层深部^[7],减少近井附近气体的聚集,因此油气比随温度增加而降低。

随着吞吐周期的增加,前三个周期各个注入温

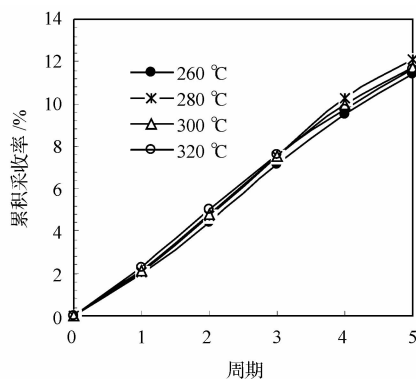


图 3 复合热载体吞吐累积采收率

Fig. 3 Composite heat carrier throughput cumulative recovery

度下的生产油气比变化不大,均低于 $600 \text{ m}^3/\text{m}^3$, 第四个周期后有较显著提高,第四、五周期平均油气比分别为 $666.64 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 、 $974.34 \text{ m}^3/\text{m}^3$,明显高于前三周期生产油气比。这是因为前三吞吐周期中,油井附近的油不断被采出来,但周围的油可以补充到近井地带,同时注入的复合热载体中的气体向地层深部运移,使气油比变化幅度不大。三个周期后,地层深部的油不能及时补充到近井地带,含油饱和度逐渐降低^[8],而气体量却逐渐增加,采收率降低,生产油气比增加。因此,从复合热载体吞吐的生产油气比考虑,选择 3 周期吞吐。

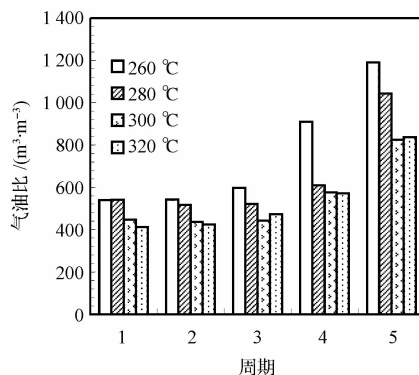


图 4 复合热载体吞吐各周期油气比

Fig. 4 Composite heat carrier throughput each cycle gas oil ratio

2.3 含水率

从图 5 可见,随着复合热载体注入温度增加,含水率增加。这是由于温度增加,束缚水体积膨胀,增加了可流动水饱和度^[9];此外温度增加,复合热载体中的蒸汽在地层中保持气态的量比较多,流动比较容易,含水率增加。

260 ℃、280 ℃、300 ℃、320 ℃ 四个注入温度下,随着吞吐周期增加,含水率增加,但幅度非常小。同样温度下,第二周期比第一周期增加 0.43% ~

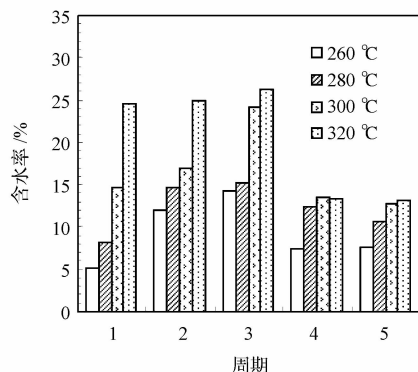


图5 复合热载体吞吐各周期含水率

Fig. 5 Composite heat carrier water soak the cycle rate

6.95%, 平均增加 3.98%; 第三周期比第二周期增加 0.56% ~ 7.26%, 平均增加 2.83%。第四周期开始降低, 第四周期比第三周期降低 2.80% ~ 12.98%, 平均降低 8.35%。第五周期与第四周期含水率相差不大, 平均相差 0.54%。随着吞吐周期的增加, 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逐渐增加, 含水率增加。第四周期开始, 束缚水体积减少, 采出的水主要是注入的复合热载体中的蒸汽, 因此含水率降低^[10]。

3 结论

(1) 随着复合热载体注入温度增加, 采收率、含水率增加, 生产油气比降低。第 3 周期开始当温度达到 280 °C 后, 采收率开始下降。

(2) 随着吞吐周期增加, 采收率、含水率增加, 生产油气比变化不大。三个周期后采收率、含水率降低, 生产气油比增加。

(3) 通过对不同温度复合热载体吞吐的采收率、含水率、生产油气比分析对比, 复合热载体注入 280 °C 的吞吐效果比较好, 吞吐 3 周期。

参 考 文 献

- 翁小红, 马哲斌, 肖 见, 等. HYS 油田复合热载体驱油先导试验. 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. *Petroleum Drilling Techniques*, 2012; 40(4): 111—114
- 马 涛, 王海波, 邵红云. 烟道气驱提高采收率技术发展现状. 石油钻采工艺, 2007; 29(5): 79—81
- Ma Tao, Wang Haibo, Shao Hongyun. Current situation of the development of flue gas flooding to improve oil recovery technology. *Oil Drilling & Production Technology*, 2007; 29(5): 79—84
- 罗二辉, 胡永乐, 李宝柱, 等. 中国油气田注 CO₂ 提高采收率实践. 特种油气藏, 2013; 20(2): 1—6
Luo Eerhui, Hu Yongle, Li Baozhu, *et al.* Practices of CO₂ EOR in China. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2013; 20(2): 1—6
- 姜瑞忠, 杨仁锋, 马江平, 等. 聚合物驱后复合热载体泡沫驱提高采收率实验研究. 油气地质与采收率, 2009; 16(6): 64—66
Jiang Ruizhong, Yang Renfeng, Ma Jiangping, *et al.* Study on laboratory experiment of combined thermal carrier foam flooding after polymer flooding. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2009; 16(6): 64—66
- 潘 一, 梁景玉, 吴芳芳, 等. 二氧化碳捕捉与封存技术的研究与展望. 当代化工, 2012; 41(10): 1072—1075, 1078
Pan Yi, Liang Jingyu, Wu Fangfang, *et al.* Research and prospect of carbon capture and storagetechnology. *Contemporary Chemical Industry*, 2012; 41(10): 1072—1075, 1078
- 李向良, 王庆奎, 李振泉, 等. CO₂ 多次抽提作用对地层油析蜡温度影响的实验研究. 大庆石油地质与开发, 2007; 26(3): 107—110
Li Xiangliang, Wang Qingkui, Li Zhenquan, *et al.* The experimental study of many extracting effects of CO₂ on the impact of formation oil wax precipitation temperature. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2007; 26(3): 107—110
- 李睿珊, 何建华, 唐银明, 等. 稠油油藏氮气辅助蒸汽增产机理试验研究. 石油天然气学报, 2006; 28(1): 72—75
Li Ruishan, He Jianhua, Tang Yinming, *et al.* The mechanism of nitrogen-assisted steam stimulation experiments of heavy oil reservoir. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2006; 28(1): 72—75
- 赵明国, 王 东. 大庆油区芳 48 断块 CO₂ 吞吐室内实验. 油气地质与采收率, 2008; 15(2): 90—91
Zhao Mingguo, Wang Dong. Laboratory experiment of CO₂ stimulation in Fang48 fault block in Daqing Oilfield. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2008; 15(2): 90—91
- 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. 中国石油大学学报(自然科学版), 2002; 26(1): 40—42
Chen Minfeng, Lang Zhaoxin, Mo Xiaoguo. Optimization of steam soaking parameters and determination of feasible developing limit for heavy oil reservoir. *Chinese petroleum University Press (Natural Science Edition)*, 2002; 26(1): 40—42
- 张丽勤. 大庆稀油油藏蒸汽驱机理及影响因素研究. 大庆: 大庆石油学院, 2009
Zhang Liqin. Research on mechanism of steamflooding and the influencing factors in Daqing light oil reservoir. Daqing: Daqing Petroleum Institute Master thesis, 2009

The Characteristic Research between Pressure and Volume of CO₂ Foam System

LIU Li¹, SONG Kao-ping¹, WANG Yu², PI Yan-fu¹, YANG Kun¹

(Petroleum Engineering Institute of Northeast Petroleum University¹, Daqing 163318, P. R. China;

Honggang Oil Production Plant of Jilin Oilfield², Songyuan 131301, P. R. China)

[**Abstract**] In order to meet the demand of CO₂-foaming flooding for ultra-low permeability blocks in Jilin oil-field, the visual *PVT* cell of high temperature and high pressure which product model is 240/1000FV produced by the French ST company is used to study pressure-volume characteristics of the determined CO₂ formula system, to judge whether or not steady foam system to exist. The experimental results showed that, temperature is certain, the foam sizes in *PVT* cell are different when pressure is low and high; when pressure is low, the foam sizes is big and foam is unsteady, drainage liquid begin at once after stopping stirring; with the rise of pressure, the foam size is smaller and smaller, the more steady of foam system, the speed of drainage liquid is slower; and by experimental observation. The critical pressure which can form steady foam system under 100 °C is 30 MPa, which is the turning point of pressure-volume, pressure-density relation curve of foam system. At last, it is found that can judge steady foam to exist or not by detecting the density of foam system on the surface for ground foaming.

[**Key words**] ultra-low permeability CO₂ foam system laboratory experiment pressure-volume characteristic high temperature and high pressure



(上接第 130 页)

Effect of Injection Temperature on the Composite Heat Carrier Huff and Puff

ZHAO Ming-guo¹, CHEN Xi^{1*}, JIA Hui-min¹, YANG Hong-yu²

(Northeast Petroleum University, Improved Recovery Key Laboratory of the Ministry of Education¹, Daqing 163318, P. R. China;

Changqing Oilfield Company No. 6 Oil Production Plant², Dingbian 718600, P. R. China)

[**Abstract**] In Daqing Sabei transitional zone, research on test of composite heat carrier huff and puff in simulation of the actual reservoir conditions. The results show that: the field of composite heat carrier through put can achieve good mining effect. Composite heat carrier stimulation, with the increase of injection temperature, recovery, the increase of water content, the producing gas oil ratio decrease. Third cycle begins when the temperature reached 280 °C, the recovery rate began to decline; with the increase in throughput cycle, recovery, the increase of water content, the producing gas oil ratio changed little. After three cycles of recovery, reduce water content, produced gas oil ratio increases. Through the different soaking temperature, five cycles of stimulation effect comparison, composite hot carrier injection at 280 °C stimulation effect is good, 3 cycle throughput.

[**Key words**] Daqing Sabei transitional zone injection temperature rocket-powered composite heat carrier huff and puff cycle