

化学蒸汽驱不同温度区域的驱油特征

刘晏飞¹,唐亮²,熊海云¹,徐太宗¹,刘继伟¹,张红梅¹

(1.中国石化河南油田分公司第二采油厂,河南南阳 473400;

2.中国石化胜利油田分公司地质科学研究院,山东东营 257015)

摘要:针对胜利油区孤岛油田中二北Ng5稠油油藏蒸汽驱过程中驱油效率和波及效率低的问题,进行化学蒸汽驱不同温度区域内驱替实验。依据不同的油藏温度,将注入井至生产井之间划分为蒸汽带、凝结热水带和油藏温度带,从驱油效率和注入压力2个方面研究3个不同温度区域化学蒸汽驱的驱油特征。结果表明:在蒸汽带和凝结热水带,起泡剂溶液产生的泡沫可以起到封堵多孔介质中大孔道的作用,防止蒸汽汽窜和过热水指进,最佳起泡剂溶液的质量分数为0.3%;蒸汽带泡沫封堵作用较强,提高注入压力4.0 MPa,凝结热水带泡沫封堵能力减弱,提高注入压力1.6 MPa;在油藏温度带,起泡剂溶液和驱油剂溶液仅表现为表面活性剂驱油作用,其中驱油剂溶液起主要驱油作用,而起泡剂溶液的驱油作用相对较小。

关键词:稠油油藏 起泡剂 驱油剂 化学蒸汽驱 胜利油区

中图分类号:TE357.4

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)03-0115-04

Characteristics of oil displacement in different temperature regions of chemical steam flooding

Liu Yanfei¹, Tang Liang², Xiong Haiyun¹, Xu Taizong¹, Liu Jiwei¹, Zhang Hongmei¹

(1.No.2 Oil Production Plant, Henan Oilfield Branch Company, SINOPEC, Nanyang City, Henan Province, 473400, China;

2.Geoscience Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

Abstract: Laboratory displacement experiment of chemical steam flooding in different temperature regions has been carried out because of low oil displacement efficiency and sweep efficiency of the steam flooding in Zhongerbei Ng5 of Gudao oilfield, Shengli petroliferous province. There are three different temperature zones from the injection wells to the production wells: steam zone, hot water condensation zone and reservoir temperature zone. The displacement characteristics of the chemical steam flooding in different temperature regions were studied from displacement efficiency and injection pressure. The results show that foam produced by foaming agent solution could plug big channel in porous media and prevent steam breakthrough and superheating water fingering in the steam zone and hot water condensation zone. Injection pressure could be increased by 4.0 MPa and 1.6 MPa respectively at the best mass fraction of foaming agent (0.3%) in the steam zone and hot water condensation zone. In the reservoir temperature zone, the foaming agent and displacement agent only act as surfactant flooding and the displacement agent played important role in the driving process.

Key words: heavy oil reservoir; foaming agent; displacement agent; chemical steam flooding; Shengli petroliferous province

蒸汽驱开采是稠油油藏蒸汽吞吐后最重要的提高采收率手段^[1-2],在中外已经得到了大规模的应用。通过不断的创新和发展^[3-9],该项技术已可以适应不同的油藏地质条件,满足油田开发的需求。胜利油区采用以蒸汽、起泡剂、氮气、驱油剂作为驱替

介质的化学蒸汽驱,开展先注起泡剂溶液、后注驱油剂溶液的现场试验,提高了蒸汽驱波及效率和驱油效率^[10-11]。在蒸汽由注入井向生产井的推进过程中,依据不同的油藏温度,注入井到生产井之间可划分为蒸汽带、凝结热水带和油藏温度带。为进一

收稿日期:2015-03-02。

作者简介:刘晏飞(1980—),女,四川彭州人,工程师,从事采油工艺技术研究工作。联系电话:13838749913, E-mail:27631926@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“胜利油田特高含水期提高采收率技术”(2011ZX05011)。

步研究化学蒸汽驱过程中不同温度区域的驱油特征,开展相应的室内驱替实验,从驱油效率和注入压力2个方面研究蒸汽带、凝结热水带、油藏温度带的化学蒸汽驱特征,以期为矿场实践提供参考。

1 实验器材与方法

1.1 实验器材

实验采用的起泡剂为DHF-1,驱油剂为WT,均为胜利油田地质科学研究院研制。实验用油为煤油与胜利油区孤岛油田中二北Ng5稠油油藏脱水原油配制的模拟油,65℃原油粘度为2 100 mPa·s。实验用水为模拟孤岛油田地层水,矿化度为6 000 mg/L,钾钠离子质量浓度为3 100 mg/L,钙镁离子质量浓度为140 mg/L,pH值为8.2。实验用气为纯氮气。实验用岩心模型为将石英砂粉碎成60~120目粉末,装入填砂管中制成,其气测渗透率为2 μm^2 ,孔隙度为0.3。

实验仪器包括:DZFR-3型蒸汽发生器和自组装化学蒸汽驱实验装置。

1.2 实验步骤

实验步骤包括:①实验前进行10 MPa系统试压,5 h压力不下降为合格;②对系统抽真空 10^{-3} MPa,连续抽8 h;③将实验岩心模型饱和地层水,并根据吸水量,分别计算其孔隙体积和孔隙度;④对不同温度区域恒温5 h,将实验岩心模型饱和模拟油,使其含油饱和度接近原始含油饱和度(其值为68%),且均老化24 h;⑤根据现场注入情况,模拟地层压力为7.6 MPa,进行不同温度区域化学蒸汽驱实验。

1.3 实验方法

蒸汽带化学蒸汽驱实验 蒸汽带化学蒸汽驱实验方法为:①向岩心模型中注入蒸汽泡沫(由氮气、不同质量分数的起泡剂溶液和蒸汽配制),注入体积为0.24倍孔隙体积,气液比为1:1;②以注入速度为2.0 mL/min向岩心模型中注入290℃的蒸汽至不出油时停止实验。

凝结热水带化学蒸汽驱实验 在凝结热水带共设计4套实验方案。方案1为驱油剂溶液—热水驱实验,实验方法为:①向岩心模型中注入1倍孔隙体积的质量分数为0.8%的高温驱油剂溶液;②进行150℃热水驱至不出油时停止实验。方案2,3和4为热水泡沫(由少量氮气、不同质量分数的起泡剂溶液和热水配制)—热水—驱油剂溶液—热水驱实验,实验方法为:①向岩心模型中注入热水泡沫,注入体积为0.24倍孔隙体积;②以注入速度为2.0 mL/min

向岩心模型中注入150℃热水至不出油为止;③注入1倍孔隙体积的质量分数为0.8%的高温驱油剂溶液,随后进行150℃热水驱至不出油时停止实验。

油藏温度带化学蒸汽驱实验 在油藏温度带共设计4套实验方案。方案5为驱油剂溶液—水驱实验,实验方法为:①向岩心模型中注入1倍孔隙体积的质量分数为0.8%的高温驱油剂溶液;②进行65℃水驱至不出油时停止实验。方案6,7和8为不同质量分数的起泡剂溶液—水—驱油剂溶液—水驱实验,实验方法为:①以注入速度为0.3 mL/min向岩心模型中注入0.24倍孔隙体积不同质量分数的起泡剂溶液;②以注入速度为2.0 mL/min向岩心模型中注入65℃水至不出油为止;③注入1倍孔隙体积的质量分数为0.8%的高温驱油剂溶液,随后进行65℃水驱至不出油时停止实验。

2 不同温度区域驱油特征

2.1 蒸汽带

2.1.1 驱油效率

当蒸汽注入油藏后,在注入井周围形成饱和蒸汽带,该区域温度达到蒸汽温度,泡沫和蒸汽起到主要的驱油作用。由蒸汽带驱油效率的变化(图1)可知,当起泡剂溶液的质量分数分别为0.2%、0.3%和0.6%时,驱油效率分别为63.2%、72.9%和73.4%;且起泡剂溶液的质量分数越高,对蒸汽的封堵作用越明显,可以防止蒸汽过早窜出,驱油效率越高,但驱油效率的增幅逐渐减小。实验结果表明,在化学蒸汽驱过程中起泡剂溶液的质量分数不宜过高,最佳起泡剂溶液的质量分数为0.3%。

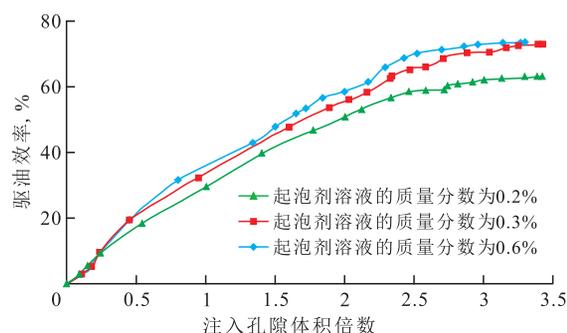


图1 蒸汽带驱油效率与注入体积的关系

Fig.1 Relationship between oil displacement efficiency and injection volume in steam zone

2.1.2 注入压力

注入压力是表征起泡剂溶液封堵能力的重要参数。由蒸汽带注入压力与注入体积的关系(图2)可知,当注入体积小于1倍孔隙体积时,随着注入体

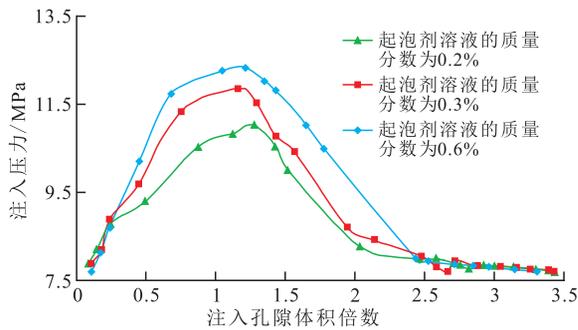


图2 蒸汽带注入压力与注入体积的关系

Fig.2 Relationship between injection pressure and injection volume in steam zone

积的增加,注入压力迅速增大,且起泡剂溶液质量分数越大,注入压力的增幅越大。当起泡剂溶液的质量分数为0.3%时,注入压力增加了4.0 MPa,表明注入起泡剂溶液后,提高了封堵压差,对吸汽剖面具有调整作用。随着蒸汽的持续注入,泡沫封堵作用减小,注入压力降低,逐渐恢复至初始注入状态。因此,在现场注入时,应根据注入压力的实际变化情况,段塞式注入起泡剂溶液,充分发挥泡沫的封堵作用,提高蒸汽波及效率。

2.2 凝结热水带

2.2.1 驱油效率

随着蒸汽向前推进,蒸汽释放热量凝结形成凝结热水带,其蒸汽温度和干度较低,氮气较少。实验结果(图3)表明,方案1最终驱油效率为57.65%,使用质量分数分别为0.2%,0.3%和0.6%起泡剂溶液的3个方案最终驱油效率分别为76.34%,80.35%和79.72%;比方案1分别提高了18.69%,22.70%和22.07%。由此可见,在凝结热水带,蒸汽虽然凝结为水,但氮气的存在提高了高温热水泡沫的驱油效率;在进行热水泡沫—热水—驱油剂溶液—热水驱实验时,凝结热水带驱油效率变化曲线在注入体积为2.4倍孔隙体积时出现上升趋势,由于此时加入了驱油剂溶液,开始进行驱油剂溶液驱替,因此表明驱油剂溶液可以进一步提高整体的驱油效率。

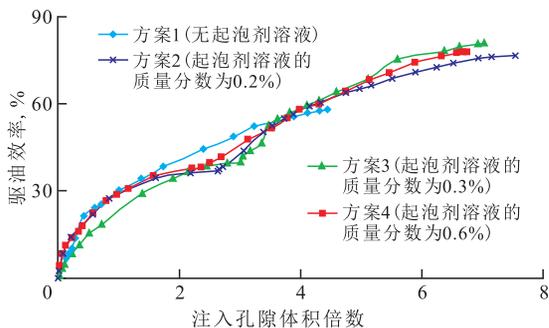


图3 凝结热水带驱油效率与注入体积的关系

Fig.3 Relationship between oil displacement efficiency and injection volume in hot water condensation zone

2.2.2 注入压力

在凝结热水带,进行热水泡沫—热水—驱油剂溶液—热水驱实验时,注入流体的温度低于蒸汽带,由于仅有少量氮气,因此注入压力增幅明显降低。当起泡剂溶液的质量分数为0.3%时,注入压力最大增幅为1.6 MPa(图4),明显低于蒸汽带注入压力增幅,且很快开始下降,由此可见在凝结热水带泡沫的调剖作用减弱。在注入体积为2.4倍孔隙体积时,注入驱油剂溶液,注入压力的变化幅度很小;凝结热水带仅注入驱油剂溶液—热水驱时,注入压力最大增幅小于1 MPa,且下降速度很快,表明驱油剂溶液仅具有一定的洗油作用,而没有封堵作用。

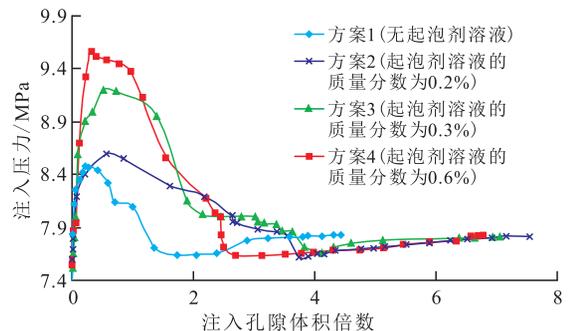


图4 凝结热水带注入压力与注入体积的关系

Fig.4 Relationship between injection pressure and injection volume in hot water condensation zone

2.3 油藏温度带

2.3.1 驱油效率

在油藏温度带,蒸汽冷却至原始地层温度,由起泡剂溶液和氮气产生的泡沫不能到达该区域,因此在油藏温度带主要进行表面活性剂驱。起泡剂溶液和驱油剂溶液均为表面活性剂溶液,表面活性剂溶液可降低引起油滞留的毛管压力,形成水包油型乳状液,并通过流水的注入而被采出。表面活性剂溶液的质量分数越大、段塞越多,最终驱油效率也越大。通过油藏温度带驱油效率与注入体积的关系(图5)可以看出,在油藏温度带驱油剂溶液的驱油作用明显高于起泡剂溶液的驱油作用,因此在

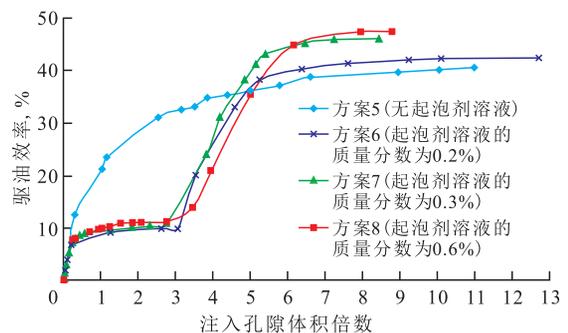


图5 油藏温度带驱油效率与注入体积的关系

Fig.5 Relationship between oil displacement efficiency and injection volume in reservoir temperature zone

油藏温度带,驱油剂溶液起到主要的驱油作用。

2.3.2 注入压力

从油藏温度带注入压力与注入体积的关系(图6)可以看出,注入起泡剂溶液时,注入压力随着注入体积的增加而迅速下降,且起泡剂溶液的质量分数越大,注入压力下降幅度越大,表明起泡剂溶液仅具有驱油作用。起泡剂溶液与岩心中的油形成水包油乳状液,起泡剂溶液的质量分数越大,形成乳状液的粘度越小,其渗流阻力也越小;水驱和驱油剂溶液驱替后注入压力稍有增加,但增幅很小。由未注入起泡剂溶液的注入压力与注入体积的关系可知,注入驱油剂溶液时,注入压力由8.1 MPa降至7.8 MPa;水驱后,注入压力缓慢增至7.84 MPa。

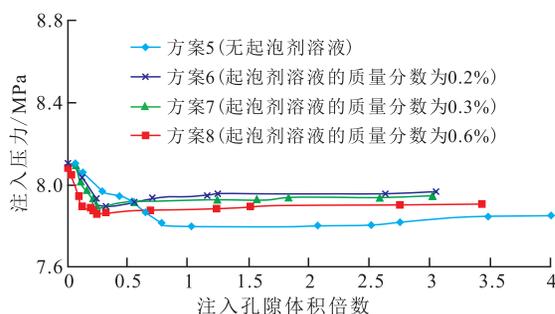


图6 油藏温度带注入压力与注入体积的关系

Fig.6 Relationship between injection pressure and injection volume in reservoir temperature zone

3 结论

在化学蒸汽驱过程中,驱油剂溶液仅具有洗油作用,没有封堵作用,主要作用于油藏温度带。起泡剂溶液在不同温度区域的驱油特征不同。在蒸汽带和凝结热水带,起泡剂溶液均可以起到提高波及效率的作用;起泡剂溶液的质量分数越大,提高波及效率的能力越强;随着距注入井距离的增大,起泡剂溶液的封堵能力减弱。在油藏温度带,起泡剂溶液仅起到表面活性剂驱油作用,相对于驱油剂溶液,起泡剂溶液的驱油作用较小;在现场注入时,应段塞式注入起泡剂溶液,最佳起泡剂溶液的质量分数为0.3%,可提高注入压力4.0 MPa。

参考文献:

[1] 刘文章.热采稠油油藏开发模式[M].北京:石油工业出版社,1998:29-31.
Liu Wenzhang.The development models of heavy oil reservoir by thermal recovery [M].Beijing: Petroleum Industry Press, 1998: 29-31.
[2] 沈平平.热力采油提高采收率技术[M].北京:石油工业出版社,2005:58-69.

Shen Pingping.EOR by thermal recovery [M].Beijing: Petroleum Industry Press, 2005:58-69.

- [3] 孙建芳,刘东,李丽,等.孤岛油田驱油剂辅助蒸汽驱对稠油性质的影响[J].油气地质与采收率,2014,21(3):55-57.
Sun Jianfang, Liu Dong, Li Li, et al.Study on interaction of displacement agent assisted steam flooding for Gudao viscous crude oil[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(3): 55-57.
- [4] 王其伟,郭平,盛强,等.孤岛油田稠油热化学驱性能研究[J].石油天然气学报,2011,33(5):119-122.
Wang Qiwei, Guo Ping, Sheng Qiang, et al.Performance study on heavy oil thermal chemical flooding in Gudao oilfield [J].Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(5):119-122.
- [5] 孙建芳.稠油油藏表面活性剂辅助蒸汽驱适应性评价研究[J].油田化学,2012,29(1):60-64.
Sun Jianfang.Adaptability evaluation of surfactant assisted steam flooding for heavy oil reservoir [J].Oilfield Chemistry, 2012, 29(1):60-64.
- [6] 王长久,刘慧卿,郑强,等.稠油油藏蒸汽泡沫调驱物理模拟实验——以吉林油田扶北3区块为例[J].油气地质与采收率,2013,20(5):76-78,83.
Wang Changjiu, Liu Huiqing, Zheng Qiang, et al.Physical modeling research of profile control and displacement by steam foam flooding in heavy oil reservoir—case of Fubei3 block in Jilin oilfield [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(5):76-78,83.
- [7] 王顺华.稠油油藏氮气泡沫辅助蒸汽驱驱油效率实验及参数优化[J].油气地质与采收率,2013,20(3):83-85.
Wang Shunhua.Oil sweeping efficiency experiment and parameter optimization of nitrogen foam-assisted steam flooding in heavy oil reservoir [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(3):83-85.
- [8] 任韶然,牛保伦,王冠杰,等.稠油油藏尿素辅助蒸汽驱油数值模拟研究[J].特种油气藏,2012,19(2):111-113.
Ren Shaoran, Niu Baolun, Wang Guanjie, et al.Numerical simulation on urea-assisted steam flooding for heavy oil reservoir [J].Special Oil & Gas Reservoirs, 2012, 19(2):111-113.
- [9] 牛保伦,林伟民,邓瑞健,等.稠油油藏尿素辅助蒸汽驱特征研究[J].特种油气藏,2014,21(3):83-86.
Niu Baolun, Lin Weimin, Deng Ruijian, et al.Research on characteristics of urea assisted steam flooding in heavy oil reservoirs [J].Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(3):83-86.
- [10] 吕广忠,张建乔.稠油热采氮气泡沫调剖研究与应用[J].钻采工艺,2006,29(4):88-90.
Lü Guangzhong, Zhang Jianqiao.Study and application of nitrogen foam profile control in heavy oil thermal production [J].Drilling & Production Technology, 2006, 29(4):88-90.
- [11] 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.
Lu Chuan, Liu Huiqing, Lu Keqin, et al.Flexibility study on nitrogen-foam flooding for shallow-thin heavy oil reservoirs [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(1):70-73.