

基于机理研究的稠油蒸汽吞吐可行性评价

——以旅大 27-2 油田为例

高旺来

(中国石油大学 石油工程教育部重点实验室, 北京 102249)

摘要:旅大 27-2 油田为普通稠油油藏,冷采开发见水早,含水上升快。为了评价蒸汽吞吐可行性,优化注气方案,对储层非均质性、稠油高温降黏特性、蒸馏特性、天然气溶解降黏、周期吞吐效果等进行了实验研究。结果表明:旅大 27-2 油田储层非均质较强,冷采过程油水黏度比大是造成含水上升快的重要原因;热采过程,当温度大于 100 ℃,温度对原油黏度降低不明显;该区块原油初馏点高,200 ℃ 以下,原油蒸馏效应基本不存在;注气实验表明,当原油中含有一定天然气,不仅具有明显降黏效果,而且可增加地层弹性能;蒸汽吞吐实验表明,蒸汽吞吐早期,吸气能力不高,随着蒸汽吞吐周期增加,吸气能力逐渐增加,实验周期产油量在第 3 周期达到最大值。研究结果可为热采注气方式实施和优化提供理论依据。

关键词:机理;稠油;蒸汽吞吐;可行性

中图分类号:TE345 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2021)04-0205-04

旅大 27-2 油田冷采试采表现为开发见水早,采出程度低,后期含水迅速升高。

热采是陆上稠油油藏开发的主要方式。对于海上稠油油田由于平台空间限制、加之热采成本高,这方面的研究起步较晚。目前文献中海上稠油油藏热采开发效果的评价主要以矿场先导试验分析和数值模拟分析方法为主^[1-5],而开采机理和实验研究方面的成果较少,使得注气参数的设计缺乏科学性。

为了评价海上稠油油藏蒸汽吞吐开发效果,指导后期方案调整方向,从储层物性特征、原油高温降黏效果、原油蒸汽蒸馏效果、注气溶解性、注气溶胀性、注气对原油黏度影响、多周期蒸汽吞吐模拟等机理方面进行实验研究。

1 油田概况

旅大 27-2 油田位于渤海东部,自上而下发育明化镇组、馆陶组和东营组三套含油层系。稠油主要分布在明化镇组下段、馆陶 I 油组,该区块 LD27-2-7 井地面原油黏度(50 ℃)为 1 541 mPa·s,油层分布明显受构造控制,油藏类型属于具多套油水系统的层状构造油藏。

2 储层非均质性

旅大 27-2 油田砂体分布受构造控制,馆陶组大部分单元以块状底水油藏为主。而明化镇组受岩性、构造等多重因素制约,主要以岩性—构造油藏为主。表 1 为旅大 27-2 油田明化镇组各油组渗透率统计结果。

表 1 明化镇组各油组平均渗透率

单位:10⁻³μm²

油组	井号							
	LD27-2-1	LD27-2-2	LD27-2-3	LD27-2-4	LD27-2-5A	LD27-2-5B	LD27-2-6	LD27-2-7
Nm I	1 508.6	624.2	—	458.9	1 322.8	562.2	423.0	2 110.7
Nm II	483.9	1 486.2	816.5	159.7	1 020.5	230.0	243.5	851.2
Nm III	398.6	893.0	738.7	213.0	452.4	100.6	269.6	842.2
Nm IV	627.1	1 343.5	939.6	163.4	180.3	111.2	157.2	320.3
Nm V	56.2	621.3	279.2	46.5	636.7	1 774.4	45.4	166.0

收稿日期:2020-11-06

基金项目:国家油气重大专项(2016ZX05058-001-008)。

作者简介:高旺来(1968—),男,陕西韩城人,中国石油大学(北京),副研究员,硕士,研究方向为常规油气藏和非常规油气藏渗流机理与提高采收率方法。

从表 1 可以发现,该油藏储层渗透率范围为 $45.4 \times 10^{-3} \sim 2\,110 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率为 $1\,319.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。平面上和纵向上渗透率分布不均匀,平面上渗透率级差在 7.2 倍,突进系数为 9.8 倍,变异系数为 1.3,均匀系数为 0.35。纵向渗透率级差在 9.8 倍,突进系数为 10.7 倍,变异系数为 1.7,均匀系数为 0.51。在纵向上、横向上、层内及层间表现出较强的非均质性。从含水率公式 [式(1)] 可以得到以下认识:在注水冷采过程,强非均质性和高的油水黏度比会加剧注水推进的不均匀,造成平面和纵向波及系数低驱油效率低,含水上升快,这与冷采试采得到的结果相一致。为了提高开发效果,应尽量降低原油黏度,或增加注入流体的黏度,并采取合理划分层系或堵水调剖手段等措施提高开发效果。

$$f_w = \frac{1}{1 + \left(\frac{K_o}{K_w}\right)\left(\frac{\mu_w}{\mu_o}\right)}$$

(1)

式中: f_w 为含水率; K 为有效渗透率; μ 为黏度;下标 o 和 w 分别代表油相和水相。

3 温度对原油性质的影响

3.1 原油黏温特性

蒸汽注入油层使原油黏度大幅度下降,这一黏温敏感特性是稠油热采的主要机理^[6]。图 1 为旅大 27-2 油田 27-2-7 井原油样品的黏温实验结果。实验测定采用德国 HAAKE VT550 型旋转黏度计及 MV-DIN 同轴圆筒测定系统。控温采用德国进口 HAAKE F8 型精密控温油浴进行温度控制,控温精度为 0.1℃。

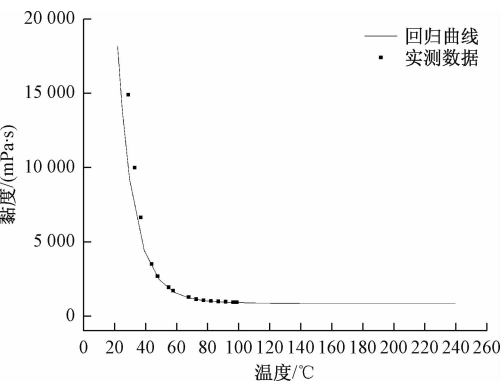


图 1 原油黏温关系曲线

旅大 27-2 油田油藏温度约为 56℃,由图 1 可知,在油藏温度条件原油黏度约为 1 126 mPa·s,温度升到 70℃的黏度约为 386 mPa·s,在 100℃原油黏度为 84 mPa·s,当温度超过 100℃,温度对原油

黏度的影响减小。由此可见,当注入流体温度超过 100℃,再提高注入流体温度对原油的降黏作用没有意义。

3.2 原油蒸馏效率

蒸汽蒸馏是稠油注蒸汽开采提高采收率的另一个重要机理^[6]。蒸汽蒸馏评价试验主要有静态蒸馏实验和动态蒸馏实验,但以上两种实验精度不高,不同学者研究结果变化范围较大^[6-10]。本文研究过程采用了色谱模拟蒸馏法,实验结果如图 2 所示。从图 2 可以看出,旅大 27-2 油田原油初馏点较高,约为 203.6℃。蒸馏效率在 270℃约为 5%, 312℃约为 10%, 344℃约为 15%。旅大 27-2 油田先导实验^[1]注入流体温度在 200~250℃,在焖井后产出过程,随着井筒温度降低,会产生冷凝作用,蒸汽蒸馏效应将进一步减弱。

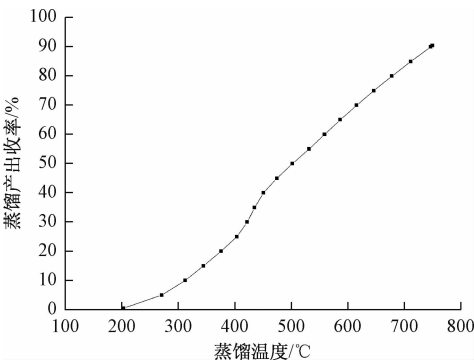


图 2 模拟蒸馏实验结果

4 原油注气降黏和溶胀效应

油藏原油溶解气油比与油藏原油性质有关,也与开采压力有关。当地层压力大于饱和压力时,原油的气油比等于原始溶解气油比。当地层压力小于饱和压力时,原油溶解气油比随开采压力的降低而减小。为了分析旅大原油对天然气的溶解性、溶解气油比对原油黏度的影响,进行了 PVT 实验。图 3 为注气综合实验曲线。

旅大 27-2-7 井原始地层压力为 11.4 mPa,饱和压力为 6.7 MPa,原始溶解气油比为 8.3 m³/m³。从图 3 可以看出,饱和压力下原油黏度约为 581 mPa·s,而脱气油黏度达到 1 861 mPa·s,为饱和压力下含气原油黏度的 3.2 倍。饱和压力下原油体积系数为 1.062,脱气原油体积系数为 1.023,饱和压力下,溶解天然气的原油体积约增加了 6.2%。由此可见,原油中溶解一定量天然气不仅增加地层弹性能,而且降粘效果明显,如果压力控制在饱和压力附近,可以形成泡沫油,将更有利于降低稠油

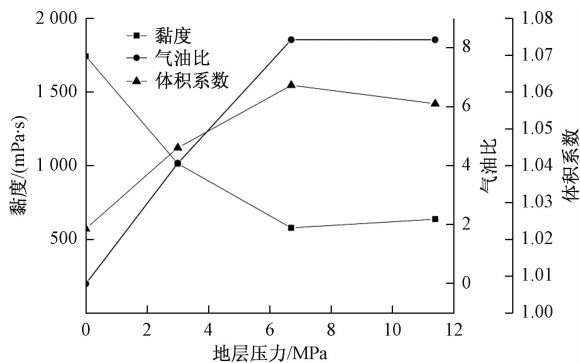


图 3 注气高压物性曲线

流动阻力,提高稠油的采收率^[11]。

5 蒸汽吞吐模拟实验

为了研究旅大 27-2 油田蒸汽吞吐开发特征,分别进行 220、240、260 ℃ 3 种条件 5 个周期一维模型原油天然气辅助蒸汽吞吐模拟实验,实验结果如图 4 所示。早期由于蒸汽腔没有形成,蒸汽注入能力有限,随着注入周期增加,蒸汽腔扩大,蒸汽注入能力逐步提高。

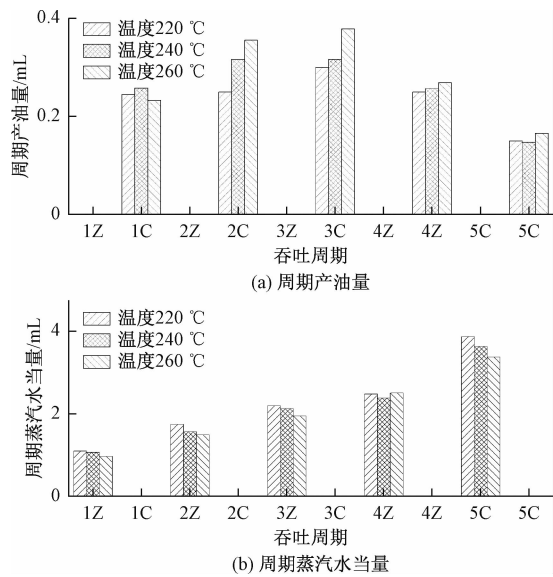


图 4 蒸汽吞吐模拟实验曲线

6 结论

- 1) 旅大 27-2 油田储层非均质较强,冷采过程油水黏度比大是造成含水上升快的重要原因。
- 2) 热采过程,当温度大于 100 ℃,温度对原油黏

度降低不明显;该区块原油初馏点高,200 ℃ 以下,原油蒸馏效应基本不存在。

3) 注气实验表明,当原油中含有一定天然气,不仅具有明显降黏效果,而且可增加地层弹性性能,有利于原油流动。

4) 蒸汽吞吐模拟实验表明,蒸汽吞吐早期,吸气能力不高,随着蒸汽吞吐周期增加,吸气能力逐渐增加,实验周期产油量在第 3 周期达到最大值。

综合以上实验结果,建议天然气辅助蒸汽吞吐,综合高温降黏、气体溶解降黏、降低界面张力、增加地层弹性能、强化深部换热、泡沫油形成条件等机理来优化注气参数,提高开采效益。

参考文献

[1] 李萍,刘志龙,邹剑,等. 渤海旅大 27-2 油田蒸汽吞吐先导试验注采工程[J]. 石油学报,2016,37(2):242-247.

[2] 唐晓旭,马跃,孙永涛. 海上稠油多元热流体吞吐工艺研究及现场试验[J]. 中国海上油气,2011,23(3):185-188.

[3] 祁成祥,李敬松,姜杰,等. 海上稠油多元热流体吞吐注采参数多因素正交优化研究[J]. 特种油气藏,2012,19(5):86-89.

[4] 梁丹,冯国智,曾祥林,等. 海上稠油两种热采方式开发效果评价[J]. 石油钻探技术,2014,42(1):95-99.

[5] 李延杰,张艳玉,张贤松,等. 海上稠油油藏蒸汽吞吐周期注汽量优化研究[J]. 油气地质与采收率,2014,21(5):87-93.

[6] 高孝田,吴官生,沈德煌,等. 稠油油藏过热蒸汽驱蒸馏作用机理试验研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2010,32(3):344-346.

[7] 沈德煌,聂凌云,杨生榛. 多孔介质中原油蒸汽蒸馏实验研究[J]. 特种油气藏,1999,6(4):48-52.

[8] WILLMAN B T, VALLEROY V V, RUNBERG G W, et al. Laboratory studies of oil recovery by steam injection[J]. Journal of Petroleum Technology,1961,13(7):681- 690.

[9] RICHARDSON W C, BELADI M K, WU C H. Steam distillation studies for the Kern River Field[J]. SPE Reservoir Evaluation and Engineering,2000,3(1):11-22.

[10] JAISWAL N, MAMORA D D. Distillation effects in heavy oil recovery under steam injection with hydrocarbon additives[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Anaheim:SPE,2007:SPE-110712-MS.

[11] 刘喆. 深层稠油天然气吞吐开发机理研究[D]. 北京:中国地质大学,2010.

**Feasibility Evaluation on Steam Stimulation of Heavy Oil
Reservoir Based on Mechanism Research:**

A case study of oilfield LD27-2 in Bohai Sea

GAO Wang-lai

(MOE Key Laboratory of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The oilfield LD27-2 is an ordinary heavy oil reservoir. Oil wells breakthrough early and water cut rising rapidly in cold production. In order to study the feasibility of steam soaking and optimize gas injection plans, it analyzes reservoir heterogeneity. The experimental studies on viscosity-temperature relationship, crude distillation, dissolution gas decreasing viscosity, cyclic steam stimulation were carried out. The results show that the serious heterogeneous and higher oil-water viscosity ratio can lead to sharp water cut increase in cold production. While the temperature is higher than 100 °C, the viscosity decreasing trend slowed down with the increase of temperature. Because of high initial boiling point, there is almost no the steam distillation effect when the temperature is lower than 200 °C. Dissolving gas into oil can make the oil volume coefficient increase and viscosity decrease. Although the gas injection volume of steam stimulation can not reach good result in the initial stage, the cycle oil production increases with injection cycles and tends to peak during the third cycle. The research results could provide certain reference for the optimization of steam stimulation development.

Key words: production mechanism; heavy oil; steam stimulation; feasibility