

基于流线的聚驱双高油田调整策略研究

张志军, 魏俊, 尹鹏, 罗珊, 吴婷, 徐良, 徐浩

(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452)

摘要:油田聚驱后, 剩余油分布十分分散, 后续水驱是增油的重要阶段, 该阶段工作制度及相关技术研究尤其重要。针对常规分析方法存在的不足, 引入流线数值模拟方法, 分析聚驱过程中流线变化规律, 从本质上解释了生产井动态变化的原因。针对某双高油田聚驱后的流线分布特征, 将生产井分为流线稳定型、微缩型和紧缩型三类, 分别提出了调整策略。研究表明, 流线微缩型生产井可通过井网调整来扩大动用区域; 流线紧缩型生产井, 可优选周期注水方式来达到稳油控水的目的。同时, 流线法可以从本质上解释油藏动态变化原因, 从而解决类似双高油田难以提出合理调整策略的问题。

关键词: 流线 双高油田 生产井类型 井网调整 周期注水

中图分类号: TE323

文献标志码: A

Strategy adjustment based on streamline for polymer flooded reservoir with high water – cut and high oil recovery rate

ZHANG Zhijun, WEI Jun, YIN Peng, LUO Shan, WU Ting, XU Liang, XU Hao

(CNOOC Energy Technology Drilling & Production Company, Tianjin 300452, China)

Abstract: After polymer flooding, the distribution of remaining oil is very scattered. The subsequent water flooding is an important stage for enhancing oil recovery. So it is significant to study on the working system and the correlation techniques for the stage. Aiming at the deficiencies of conventional analytic methods, the streamline numerical simulation method was introduced to analyze the changing rules of streamline in the process of polymer flooding. And then it was explained in essence the performance change of producing wells. According to the distribution characteristics of streamline after polymer flooding for a certain oilfield with high water – cut and high oil recovery rate, the producing wells were divided into three types of streamline: steady, micro – contraction and retrenchment. And then the corresponding adjustment strategies were proposed. The study results indicated that for wells of micro – contraction type streamline, the recoverable area can be expanded by adjusting well pattern, and for wells of retrenchment type streamline, the purpose of stabilizing oil and controlling water can be obtained by the periodic water injection mode. Meanwhile, the cause of reservoir performance change can be explained by the streamline method in essence. Thus the reasonable adjustment strategy can be proposed for similar oilfields with high water – cut and high oil recovery rate.

Key words: streamline; oilfields with high water – cut and high oil recovery rate; type of production well; well pattern adjustment; cyclic waterflooding

聚驱开发油田转后续水驱时, 多呈现“双高油田”(高含水率和高采出程度)的生产特征, 产量递减快, 控水挖潜难度大。某陆地油田于 2007 年实施注聚开发, 2013 年转后续水驱, 截至 2014 年 7 月, 综合含水率 96.3%, 采出程度 42.6%, 总体表现为“双高”特征。对于转入后续水驱阶段的生产井, 目前常规的方法是根据生产井动态进行分类调整, 而

众多原因可能导致产量下降, 若不能找出其根本原

收稿日期: 2018-01-29; 改回日期: 2018-02-22。

第一作者简介: 张志军(1989—), 工程师, 硕士, 现从事提高采收率技术。E-mail: zhangzhj43@cnooc.com.cn。

基金项目: “十三五”国家科技重大专项示范工程 58“渤海油田高效开发示范工程”(2016ZX05058)经费资助。

因,则难以给出针对性的调整建议。本文从流线角度出发,分析了生产井产量变化的原因,并根据流线变化规律将生产井分为 3 类,有针对性地提出了各自的调整策略。

1 聚驱后流线分布规律

1.1 流线的表征

流线的形成是通过计算速度变化进行追踪的,有方向有大小,属于矢量。将速度与要展示的标量相结合,即可得到该标量在流线上的变化^[1-6]。流场强度矢量表征:

$$\vec{\Omega}_1 = \vec{V}\Omega \quad (1)$$

式中, \vec{V} 由流线模拟计算得到, Ω 为各时刻的标量场强度值, $\vec{\Omega}_1$ 为标量场的矢量表征。 $\vec{\Omega}_1$ 为一关于 (x, y, z, t) 的函数,因此可以通过 $\frac{d\Omega(t)}{d(t)}$ 去标量 Ω 的变化方向和某方向上该值变化的快慢,以及从不同时刻 Ω 波及面积的改变,得到水线推进的方向及驱替均衡性的变化,从而更加直观地反映地下水的驱替均衡性及方向性。均质及非均质条件下的流线分布如图 1 所示。

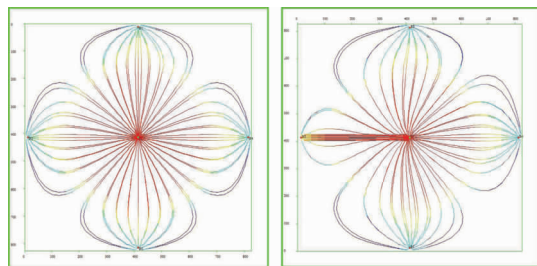


图 1 均质及非均质条件下流线分布特征

由图 1 可知,对于均质油藏,流线从注入井均匀地向四周发散,驱替均衡性好,波及范围广;而对于非均质油藏,流线沿着高渗通道分布,而对其他方向波及较少,驱替均衡性较差。因此,根据流线的方向及流线密度,即可判断驱替的均衡性和方向性。基于流线在不同阶段的分布特征,有针对性地提出调整措施,从而指导油田措施调整策略。

1.2 流线分布规律

大量矿场聚驱油田测试显示,聚合物驱后剩余油分布十分零散,对应生产井产量也有明显变化。其中聚驱后流线分布多呈 3 种形式,即流线紧缩、流线微缩和流线稳定。根据聚驱及后续水驱阶段流线分布特征将目标油田生产井分为 3 种类型。

第一类为流线紧缩型生产井。该类生产井转后

续水驱时,注入井发出的流线包络面积减小;沿着某一方向发出的流线集中,而其他方向流线密度减小甚至为零,如图 2 所示。对应生产井特征为产油急剧下降,含水迅速上升。

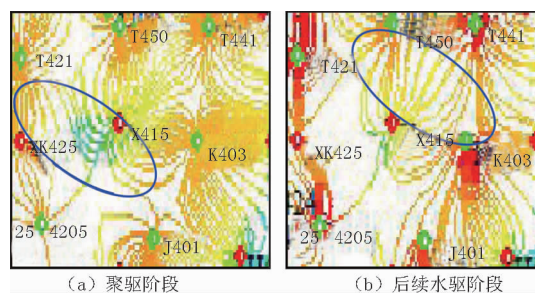


图 2 流线紧缩型生产井聚驱/后续水驱流线分布特征

第二类为流线稳定型生产井。该类生产井转后续水驱时,注入井发出的流线基本稳定;从各方向汇集的流线大体相当,不存在明显的窜流,如图 3 所示。对应生产井表现特征为产油及含水基本保持稳定。

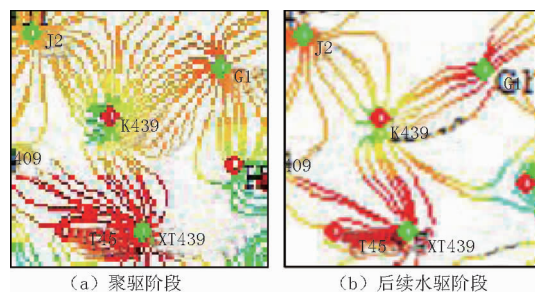


图 3 流线稳定型生产井聚驱/后续水驱流线分布特征

第三类为流线微缩型生产井。该类生产井转后续水驱时,流线微缩,流线所包络的面积有所减小,无窜流发生,如图 4 所示。对应生产井特征为含水缓慢上升,产油缓慢下降。

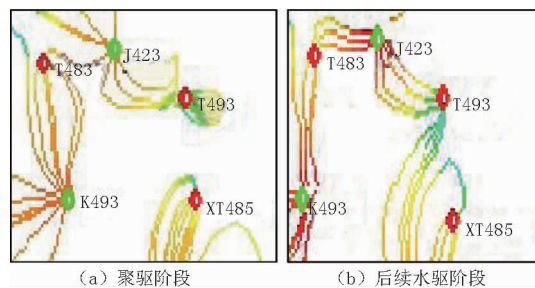


图 4 流线微缩型生产井聚驱/后续水驱流线分布特征

分析 3 种流线类型与生产井产量变化可知:流线紧缩型由于驱替液波及范围锐减,驱替均衡性变差,窜流严重,导致生产井产量快速递减;流线微缩型由于驱替波及范围缩减程度较小,且无明显窜流发生,因此生产井产量有所下降,但下降缓慢;流线

稳定型则后续水驱前后流线驱替方向及均衡性基本无差,因此对应生产井产量基本保持稳定。因此,后续水驱阶段的稳油控水调整策略主要是针对流线紧缩性和微缩型生产井。

2 聚驱后稳油控水技术探讨

2.1 流线微缩型

流线微缩型生产井多分布于井网完善程度低,窜流相对较弱的区域。因此可以通过井网调整,扩大油藏波及区域,从而减缓产量并控制含水上升速度。以 B 井组为例来说明井网完善前后效果。目前由于 A1 和 A2 井仅受 B1 方向供液,导致生产井

供液不足,生产井产量偏低,而 B2 为暂关的水井,因此可以通过复开注入井来增加 A1 及 A2 井的供液,从而扩大储层动用范围,提高生产井产量。调整前后生产井产量及含水变化如图 5、图 6 所示。

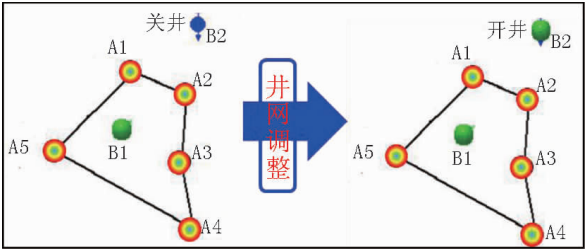


图 5 井网完善前后井位分布

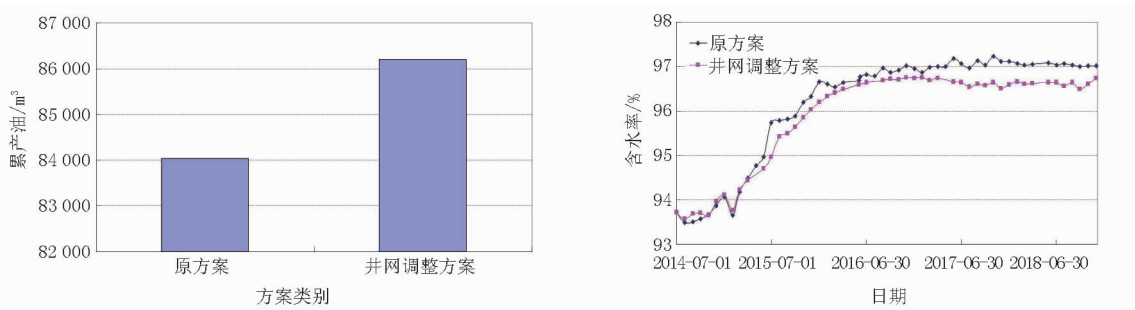


图 6 井网完善前后单井产油量及含水率

2.2 流线紧缩型

流线紧缩型生产井井网完善程度较高,但油水井间存在一定的窜流方向,导致产量急剧下降,含水急剧上升。因此在后续水驱阶段,可以通过调整窜流井间的注入量和周期注水等技术来降低窜流的影响。

2.2.1 改变液流方向

改变液流方向原理为:改变注入水在油层中稳定注水时形成的固定水流方向,把高含油饱和度区域中的原油驱出,或在微观上改变渗流方向引起水相渗透率变化来提高可动油饱和度,最终达到改善水驱油效果的目的,如图 7 所示。

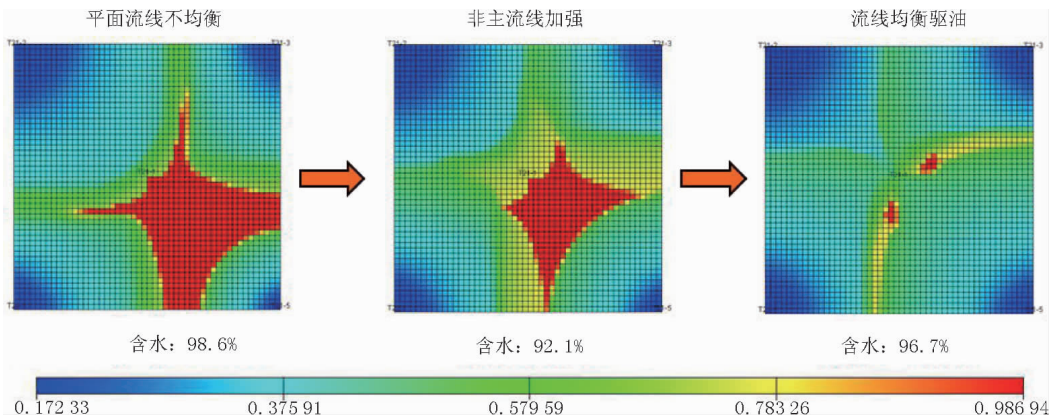


图 7 改变液流方向效果示意

以 A3 井为例,A3 井受 B2 井影响较大,因此通过降低 B2 井注入量,提高周围其他井注入量,减少注入水对窜流区的冲刷,增大对非窜流区域的波及,使得生产井含水得到控制,从而提高了产量。油水井位置及调整前后产量变化如图 8、图 9 所示。

进一步研究 B2 井降注幅度表明:注入量降幅 30% 时产油量达到最大。这是因为降幅小于 30% 时,随着窜流井注水量的降低,非窜流井对非窜流区域的波及范围增大,生产井含水上升速度较慢;而降幅大于 30% 时,非窜流井注入量过大,造成新的窜

流发生,含水上升速度加快,产油量降低(见图9)。

2.2.2 周期注水

周期注水^[7-11]较连续注水在平面上能动用更多剩余油,主要原因是在不同井之间生产制度变化不同,造成压力场的急剧变化,从而形成窜流,把常规水驱的滞留区的油推到生产井附近。而生产井制度的改变也可以形成破坏常规水驱压力平衡区的效应,从而将剩余油驱替出来。

周期注水的注水量波动幅度的计算公式如下:

$$\Delta = (q_1 - q_2) / 2q \quad (2)$$

式中, q_1 为增注阶段的注水量, m^3 ; q_2 为减注阶段的注水量, m^3 ; q 为正常连续注水时的注水量, m^3 ; Δ 表示注水量波动幅度, 小数。

设计周期注水半周期为 15 d, 周期注水量波动

为 0.3, 生产井正常连续生产。对比周期注水与连续注水差异, 如图 10 所示。根据结果可以看出, 采用周期注水可以有效降低含水率及含水上升速度, 延缓生产井水淹时间, 提高生产井产油量, 从而更加有效地挖潜剩余油。

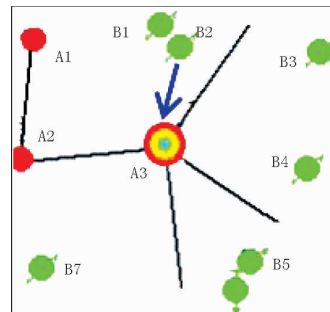


图8 改变液流方向法井位示意

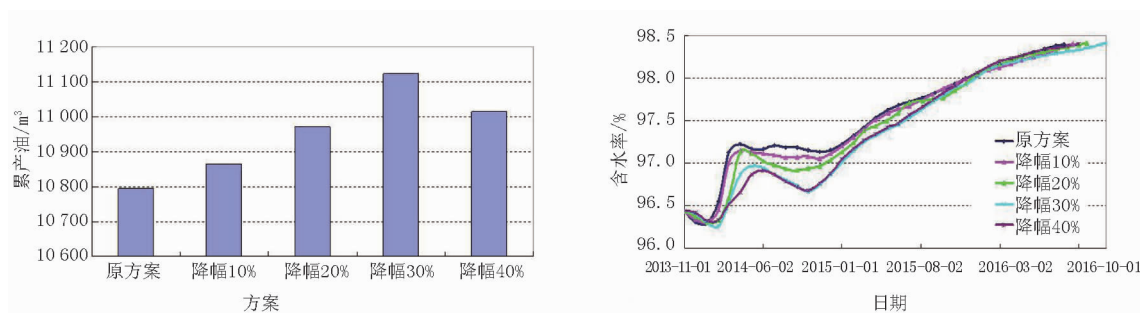


图9 改变液流方向前后生产井产量及含水变化

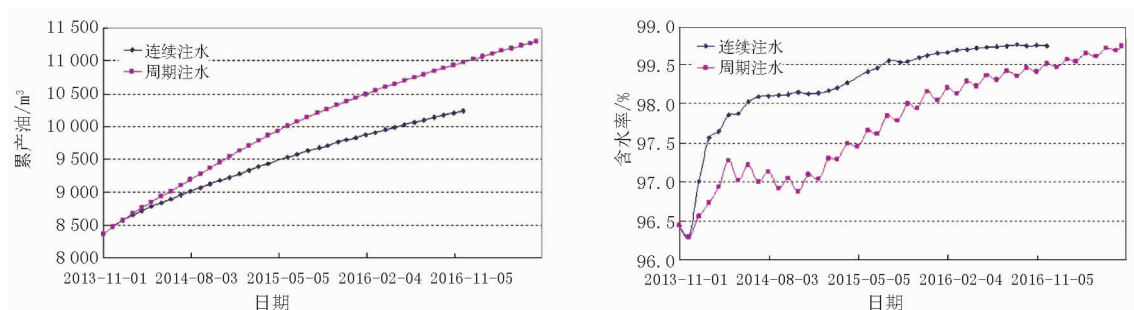


图10 周期注水与连续注水生产井产量及含水变化

考虑到周期注水时机、间注时间及波动幅度均会影响注水效果, 因此分别优化 3 个注入参数。研究结果表明: 在后续水驱一年后实施不稳定注水, 效

果好于注聚结束后马上采取不稳定注水措施。半周期为 30 d 时采收率最大, 波动幅度在 0.3 ~ 0.6 时提高采收率效果十分明显(见图 11)。

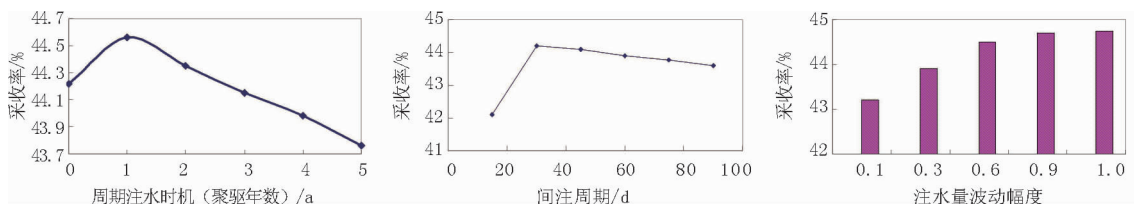


图11 周期注水时机、间注时间及波动幅度对生产井产量影响

对比流线紧缩型生产井调整方式可知, 采用周期注水方法可以更大程度地提高生产井产量和控制

含水, 因此, 优选周期注水方式可以达到流线紧缩型生产井稳油控水的目的。

3 结论

(1)相对于常规方法,流线法能够更加直接地评价驱替的均衡性及方向性,并从本质上解释生产井产量下降的原因,从而更好地指导生产井措施调整。

(2)根据目标油田流线分布特征,将生产井分为流线稳定型、流线微缩型及流线紧缩型3类,并针对流线微缩型及流线紧缩型生产井提出调整策略。

(3)对流线稳定型生产井,可按照目前制度继续生产;对流线微缩型生产井,可通过井网调整来扩大动用区域;对流线紧缩型生产井,可优选周期注水方式来调节窜流影响,从而达到稳油控水的目的。

参考文献:

- [1] 吴明录,姚军. 应用流线数值试井方法研究聚合物驱油藏剩余油分布[J]. 石油钻探技术,2009,37(3):95-98.
- [2] 吴琼,李相方. 基于流线模拟的低渗透油藏中后期调整研究[J]. 大庆石油地质与开发,2009,28(6):110-114.
- [3] 樊文杰. 流线模拟方法在油藏管理中的应用[J]. 国外油田工程,2002,18(1):15-16.
- [4] 汤昌福. 面积井网油藏流线模拟及其应用[D]. 北京:中国地质大学(北京),2013.
- [5] NAJEM A A, SIDDIQUI S, SOLIMAN M, et al. Streamline simulation technology: evolution and recent trends [R]. SPE 160894, 2012.
- [6] VICENTE B J, PRIIMENKO V I, PIRES A P. Streamline simulation of polymer slugs injection in petroleum reservoirs [J]. SPE 153616, 2012.
- [7] 殷代印. 高含水期砂岩油田周期注水机理及应用研究[D]. 大庆:大庆石油学院,2001.
- [8] 张继春,柏松章,张亚娟,等. 周期注水实验及增油机理研究[J]. 石油学报,2003,24(2):76-80.
- [9] 刘庆娟. 周期注水渗流理论及方案优化研究[D]. 大庆石油学院,2010.
- [10] 赵长久. 用水动力学方法改善水驱开发效果[J]. 油气采收率技术,1996,3(2):27-33.
- [11] 张志军,王宏申,王锦林,等. 基于水驱特征曲线的注采比优化研究[J]. 2016,2(9):45-47.

(编辑 谢 葵)

江苏油田一项成果获得国际领先水平

2018年5月17日,由江苏油田承担的《断块油藏不规则井网流场调整提高采收率研究》项目,在京顺利通过中石化科技部组织的专家验收和鉴定,研究成果达到国际领先水平。

由江苏油田采油一厂和研究院共同完成的《断块油藏不规则井网流场调整提高采收率研究》成果,以特高含水期注采井网剩余油控制状况、水动力学控制改善为主线,通过流场评价方法和流场调整优化研究,从井网优化、液量改善、储层改造角度实现差异化水驱,达到特高含水期降本增效的水动力学提高采收率目的。

该成果首次提出了流场强度、水驱程度两个流场表征指标,建立了“流场强度+水驱程度”的流场评价体系,形成了“井网调整+注采优化+储层改造”的流场调整优化方法,实现了计算机程序化。该成果已在江苏油田三个水驱开发单元进行推广应用,实现增油 3.6×10^4 t。申请国家发明专利1项。

(油 科)