

引用格式:张磊,贾兰,张道连.强边水小断块油藏聚驱后期开发技术对策研究[J].油气藏评价与开发,2020,10(6):72-77.

ZHANG L, JIA L, ZHANG D L. Developing technical countermeasures in the late stage of polymer flooding in small fault block reservoirs with strong edge water[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2020, 10(6):72-77.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2020.06.011

强边水小断块油藏聚驱后期开发技术对策研究

张磊,贾兰,张道连

(中国石化河南油田分公司采油一厂,河南 南阳474780)

摘要:针对双河油田强边水小断块油藏聚驱后期递减持续增加的问题,研究了影响聚驱后期开发效果的因素,主要包括:①边水能量强,边部油井见效率低;②聚驱井网不规则,聚驱严重;③地层堵塞油井的产液量降幅大等。为了改善聚驱后期开发效果,进一步提高采收率,开展了强边水小断块油藏的改善开发效果技术对策研究。运用数值模拟技术研究不同注采参数条件下边部井组聚驱驱替效果,界定强边水油藏边部井组合理注采比,拟合小井距聚驱井网不同注采方式对单井点窜流的抑制作用,明确了抑制单井点聚驱的最佳方式,运用油藏工程方法研究不同聚驱阶段油井堵塞半径,提出聚驱后期堵塞油井治理对策,现场应用取得了较好的效果。

关键词:强边水;聚合物驱;数值模拟;改善开发效果;小断块油藏

中图分类号:TE357

文献标识码:A

Developing technical countermeasures in the late stage of polymer flooding in small fault block reservoirs with strong edge water

ZHANG Lei, JIA Lan, ZHANG Daolian

(No. 1 Oil Production Plant, Sinopec Henan Oilfield, Nanyang, Henan 474780, China)

Abstract: In order to solve the problems of decline continues to increase, carry out the research on the factors affecting the development effect of polymer flooding in the later stage. There are some problems in the small faulted block reservoir He Er Duan of Shuanghe Oilfield, such as strong edge water energy shows low efficiency, irregular well pattern leads to fluid channeling, formation plugging results in a large drop in well fluid production and so on. In order to improve the development effect of polymer flooding in later stage and further enhance oil recovery. Studing the effect of cluster displacement under different injection-production parameters by numerical simulation technology, define reasonable injection-production ratio. The inhibition effects reserched single point cross-flow in different injection-production way by numerical modeling, and draw the best way. Study on radius of oil congestion in polymer flooding stage and come up with reasonable countermeasures, good field application effect had been taken.

Key words: strong edge water, polymer flooding, numerical simulation, improve the development effect, small fault-block reservoir

聚合物驱提高采收率技术在国内发展已较为成熟。我国是聚合物驱技术应用规模最大的国家,形成了综合配套技术,并在现场应用中取得了良好的开发效果^[1],主要应用于大庆、胜利等油田。河南油田前期聚合物驱主要应用于含油面积大、地质储量

较大、含油面积小的高黏度普通稠油油藏应用较少。因此,针对强边水能量油藏边部油井的见效率较低、内部不规则井网窜流严重、聚驱中后期油井堵塞严重等问题,展开了聚驱后期改善开发效果的技术研究,以期持续提高聚驱效果。

利用数值模拟方法,研究了不同注采参数下边

收稿日期:2020-08-31。

第一作者简介:张磊(1967—),男,本科,高级工程师,从事滚动勘探、油藏评价及油气田开发工作。地址:河南省南阳市桐柏县埠江镇河南油田采油一厂,邮政编码:474780。E-mail: 879689175@qq.com

基金项目:中国石化股份有限公司示范工程“中高渗砂砾岩油藏聚驱后非均相复合驱技术”(P19007-4);中国石化股份有限公司重大专项“聚驱后油藏水驱提高采收率技术”(P16080)。

增油 5.760×10^4 t, 聚合物换油 23.13 t/t, 提高采收率 5.49%。2017年底进入递减期, 受边水、堵塞等因素影响, 聚驱效果变差, 递减率持续加大。

2 影响聚驱后期持续见效的主要因素

2.1 边水能量强, 制约边部油井效果

对于窄条带强边水油藏来说, 天然能量开采阶段的驱油动力主要来自油藏中油、水和地层岩石发生的弹性膨胀作用以及边水的侵入作用。将边水的侵入简化为平面上的线性流动, 属于稳定渗流, 而各处的渗流速度是相同的, 这时可将其等效为线性流动。如果是单井渗流模型, 那么油水边界为定压边界, 其镜像井之后的渗流模型为椭圆形^[4]。受边水附近采油井降压开采的影响, 油水边界线改变了原来与构造线平行的状态, 边水推进不均匀, 强边水非均质油藏加快油井水淹速度, 大幅降低了采收率^[5-6]。油藏经过长期水驱和化学驱之后, 剩余油分布越来越复杂, 平面分布上, 多为孤岛状或窄条带状^[7]。

根据实际油藏特点, 采用三面邻边水、四注一采的模式(图3), 分别研究在有效抑制边水和未抑制边水的情况下, 边水对采收率的影响。因边水存在, 在注入压力和重力作用下, 驱剂沿油水边界推进较远^[8], 靠近边部区域驱剂利用率低, 边水突进使得聚驱采收率下降^[9-10]。研究表明: 强边水油藏聚合物驱过程中, 抑制边水与未抑制边水提高采收率的差值高达 3.61% (图4)。根据弹性水压驱动的物质平衡方程, 计算核二段累积亏空与边水累积侵入量比值可以得出, 聚驱前边水补充 94.6% 地层亏空体积, 聚驱过程中, 边部有 7 口见效井, 见效率为 38%, 油井采出水氯离子 425 ~ 532 mg/L, 边部未见效井采出水

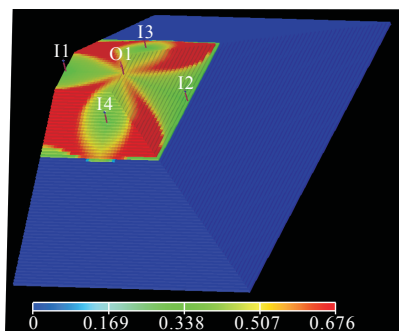


图3 三面环水模型

Fig. 3 Model with three sides of water

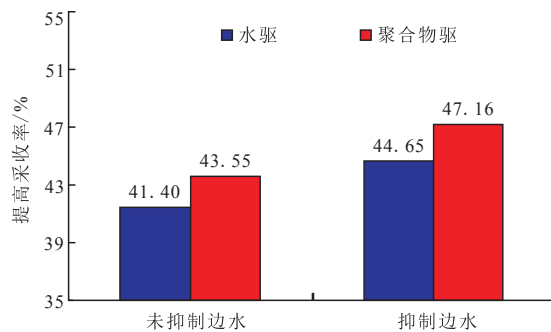


图4 边水对采收率的影响

Fig. 4 Influence of edge water on recovery factor

氯离子与地层水氯离子相近, 说明边水能量强, 导致边部油井见效率低, 且边部油井见效后增油降水幅度较小。

2.2 不规则井网单向窜流对聚驱效果的影响

注采井网在油田开发中非常重要, 聚驱阶段井网完善程度越高, 油井的受效方向越多, 单向窜流发生的可能性就相对越小^[11-13]。统计结果表明: 三向及三向以上的多向受效井见效率高, 且聚驱后期窜流程度相对较低^[14-16]。双河核二段聚驱井网不规则, 单向受效井占单元总井数三分之一以上, 而多向受效井较少, 导致聚驱后期单向窜流严重, 调整难度较大, 见效井回落速率快, 导致聚驱后期单元稳产难度大。

2.3 地层堵塞导致聚驱产量下降

聚合物通过化学吸附和机械捕集, 在多孔介质内发生滞留, 高分子聚合物通过静电作用或化学键力相互吸附, 与地层细粉砂、黏土、胶质相互作用形成胶团。聚驱见效后, 含水下降。混合液携带胶团运移后, 部分胶团滞留在孔隙内, 造成孔道过流断面减小, 液流阻力增加, 堵塞液流通道, 造成运移堵塞^[17-19]。双河核二段储层埋深较浅, 胶结类型以孔隙式为主, 胶结物以泥质为主, 压实程度低, 成岩作用差, 胶结疏松, 细粉砂含量较高。在天然水驱开发过程中, 由于水的渗流阻力较小, 在高含水条件下, 油水混合液在地层中流动性能较好。聚驱见效后, 含水下降, 高黏度原油混合液携带胶团运移, 堵塞液流通道, 造成运移堵塞^[16-17]。堵塞层多分布在储层相对较浅的层。堵塞后油井产液量降幅高达 91.9%, 严重影响聚驱成效(图5)。

利用注聚段塞, 结合纵向、平面剩余油的分布情

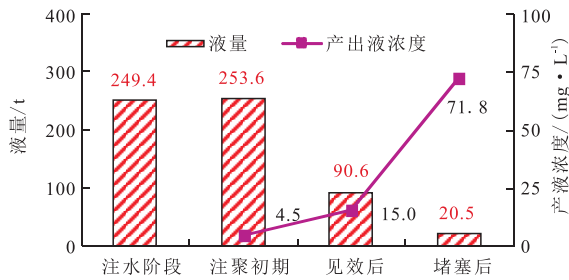


图5 双河油田核二段聚驱过程中油井堵塞前后变化情况
Fig. 5 Change before and after plugging by polymer flooding with 2nd member of Hetaoyuan Formation in Shuanghe Oilfield

况,针对强边水小断块油藏聚驱阶段生产动态、流线流场特征及剩余油分布潜力区变化,着重抑制边水推进,促使边部见效,控制聚驱窜流,促进均衡驱替,有针对性地优选深部解堵措施来提高单井产能,研究强边水小断块普通稠油油藏聚合物驱后期改善开发效果的“三项”调整技术对策,控制递减,促进单元平稳运行。

3 改善开发效果技术对策

3.1 边水抑制技术研究

3.1.1 建立地质模型

根据核二段三面邻水的油藏特点,结合聚驱井网条件,建立边部2口油井对应中心构造高部位一口注入井的强边水单层典型模型。选择有代表性的地质参数和注采参数,参考双河核二段物性参数,取孔隙度23.4%,渗透率 $0.5 \mu\text{m}^2$,计算得出边水入侵量为地质储量的4.68倍。

3.1.2 边部合理注采比研究

界定模型开采时间为3 a。在油井产液量不变的情况下,调整水井注入量,设计11种注采比方案进行数值模拟,分别为0.7、0.8、0.9、1.0、1.1、1.2、1.3、1.4、1.5、1.6、1.7(图6)。受强边水作用,注采比偏小,聚合物驱替受限,油水井间剩余油饱和度较高,说明

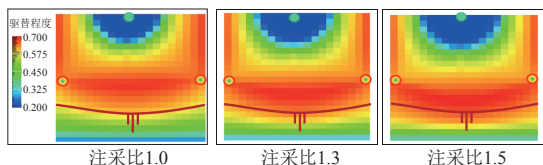


图6 不同注采比下井组驱替情况

Fig. 6 Displacement situation by different injection-production ratio

驱替效果不好。随着注采比的增加,井组驱替效果逐渐变好。当注采比增加至1.3时,井间剩余油得到有效驱替,提高采收率幅度最高,出现拐点,但随着注采比持续加大,内部驱替作用过强导致剩余油外溢(图7)。

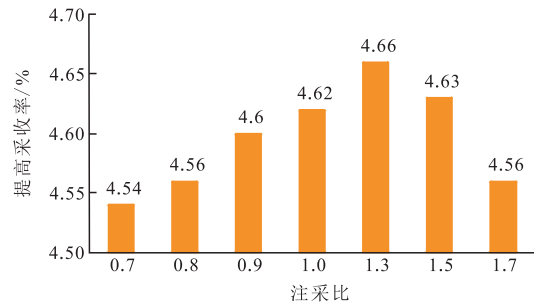


图7 不同注采比下边部油井提高采收率

Fig. 7 EOR by different injection-production ratio

3.2 聚窜控制技术研究

3.2.1 建立地质模型

根据强边水小断块油藏双河核二段聚驱井网井距,建立注采井距为130 m的一注四采非均质模型。模型为单层,网格数为 $20 \times 20 \times 3$ 。

3.2.2 不同注采生产方式对抑制窜流的作用

采用非均衡注采方式,保持地层压力,注水井配注 $80 \text{ m}^3/\text{d}$ 。前3口井产液 $20 \text{ m}^3/\text{d}$,第4口井产液 $30 \text{ m}^3/\text{d}$,井组生产至发生窜流,数值模拟不同注采参数生产3 a的抑制窜流结果(图8)。

第一种方式:水井配注量大幅下调,4口油井采液量保持不变;

第二种方式:水井注水量不变,窜流方向油井产液量大幅度下调至 $15 \text{ m}^3/\text{d}$;

第三种方式:水井注水量不变,窜流方向油井调停。

结果表明:小井距井网聚驱过程中油井停产有利于减缓聚窜,促进均衡驱替,且停产3 a后剩余油

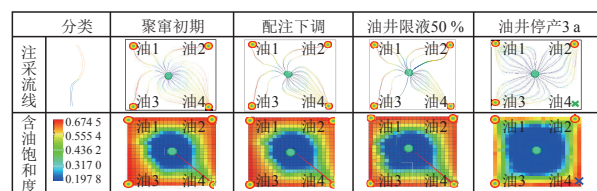


图8 不同注采参数对抑制窜流的影响

Fig. 8 Influence of different injection-production parameters on fluid channeling control

重新富集。

3.3 普通稠油聚驱后期解堵技术研究

地层疏松、细粉砂含量较高的普通稠油油藏聚驱过程中,混合液携带胶团运移,堵塞液流通道,造成运移堵塞。以矿场生产为依据,结合解堵半径和替代井生产效果,研究堵塞半径。聚驱初期,油井近井地带堵塞,降黏解堵效果好,说明仅依靠化学药剂降黏解堵效果较好;聚驱中期,随着聚驱见效,采出端含水持续下降,结合替代井及解堵效果得出堵塞半径大于2~3 m,降黏解堵效果变差;聚驱后期,堵塞半径进一步扩大到18 m以上。依靠单纯的化学药剂在近井距范围内解堵效果变差甚至无效。根据堵塞半径研究结果,提出深部挤压充填防砂解堵方法,解堵半径达到31~46 m。

4 现场应用

在双河油田核二段强边水小断块油藏应用上述生产方式,改善聚驱后期开发效果明显,实际聚驱曲线优于预测曲线(图9)。边部注采比由1.15调整至1.3左右,调整后新增见效井3口,边部油井见效率由38%提升至75%,其中K0209井调整前见边水,调整后复产日产油为1.8 t,含水降至96%。油井停产5层,调剖水井6口,实施后液流转向4口井,持续见效3口井,其中浅平1井与K0201井位于同一井组。聚驱方向上的浅平1井停产,原弱势方向上的K0201井持续见效,日增产能1.5 t。2口井挤压充填防砂解堵,产液量由16.3 t/d上升至73.5 t/d,产液量大幅度提高,有效解决了油井运移堵塞低产液量的问题。通过以上技术对策的矿场应有,日增产能24.9 t,累计

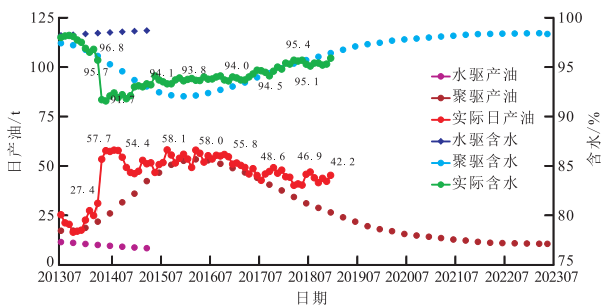


图9 双河油田核二段聚驱预测曲线(2018年底)

Fig. 9 Prediction curve of polymer flooding about 2nd member of Hetaoyuan Formation in Shuanghe Oilfield (at the end of 2018)

增油 0.9×10^4 t。方案设计聚驱递减期增油 2.35×10^4 t,提高采收率1.79%,实际增油 2.72×10^4 t,提高采收率2.07%;递减期单元产量平稳运行,综合递减仅5.18%,矿场效果达到预期。

5 结论

1) 强边水油藏聚驱过程中,边部井组注采比为1.3左右,边部滞留区剩余油得到有效驱替,提液采收率增幅最大。

2) 针对小井距聚驱井网单井点窜流,窜流方向油井停产有利于弱势方向液流转向,促进平面均衡驱替,停产3 a后窜流井区形成小尺度剩余油,具备再动用潜力。

3) 普通稠油油藏聚驱后期,地层堵塞半径持续增加,挤压充填防砂解堵技术可以有效提高堵塞井的产液量,达到解除聚驱深部堵塞,扩大聚驱效果的目的。

参考文献

- [1] 金亚杰. 国外聚合物驱油技术研究及应用现状[J]. 非常规油气, 2017, 4(1): 116-122.
JIN Y J. Progress in research and application of polymer flooding technology abroad[J]. Unconventional Oil & Gas, 2017, 4(1): 116-122.
- [2] 刘瑜莉, 孙宜丽, 何兰兰. 改善二类储量聚合物驱效果动态调整技术研究[J]. 石油地质与工程, 2012, 26(1): 51-53.
LIU Y L, SUN Y L, HE L L. Dynamic adjustment technology to improve polymer flooding effect of II reserves[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2012, 26(1): 51-53.
- [3] 苏建栋, 黄金山, 邱坤态, 等. 改善聚合物驱效果的过程控制技术——以河南油区双河油田北块H₃IV 1-3层系为例[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(2): 91-94.
SU J D, HUANG J S, QIU K T, et al. Study on process control technology to improve effect of polymer flooding—case of north block H₃ IV 1-3 strata in Shuanghe oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(2): 91-94.
- [4] 贺菴, 黄郑, 何勇明, 等. 利用油藏动态方法计算强边水小砂体油藏的油水边界[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2018, 45(3): 374-378.
HE L, HUANG Z, HE Y M, et al. Calculation of oil-water boundary of small sandbody reservoir with strong edge water by reservoir dynamic method[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2018, 45(3): 374-378.
- [5] 殷金平, 孙超因, 张东星, 等. 中高渗强边水油藏合理采液强度研究[J]. 石油化工应用, 2018, 37(1): 70-73.
YIN J P, SUN C N, ZHANG D X, et al. The reasonable mining strength of high permeability and strong water reservoir[J].

- Petrochemical Industry Application, 2018, 37(1): 70-73.
- [6] 鲁娟莹.复杂断块油藏中高含水期水驱规律研究[J].中国矿业, 2020, 29(S1): 519-523.
- LU J D. Study on water drive law of complex fault block reservoir in high water cut period[J]. China Mining Magazine, 2020, 29(S1): 519-523.
- [7] 谷晓庆.双河油田北块IV 1-3层系聚驱后期改善开发效果实践[J].石化技术, 2018, 25(10): 222.
- GU X Q. Practice on improvement of development effect in the late stage of polymer flooding of the IV 1-3 formation in the North Block of Shuanghe Oilfield[J]. Petrochemical Industry Technology, 2018, 25(10): 222.
- [8] 李长宏,李怡.窄条带强边水普通稠油油藏聚合物驱技术——以双河油田核二段为例[J].西部探矿工程, 2017, 29(6): 83-85.
- LI C H, LI Y. Polymer flooding technique of normal heavy oil reservoir with the narrow band and strong edge water—case of 2nd member of Hetaoyuan Formation in Shuanghe Oilfield[J]. West-China Exploration Engineering, 2017, 29(6): 83-85.
- [9] 李长宏.泌124断块下层系普通稠油油藏聚合物驱实践与认识[J].石油地质与工程, 2011, 25(5): 67-69.
- LI C H. Practice and recognition of ordinary heavy oil reservoir polymer flooding in Bi 124 fault block low series[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(5): 67-69.
- [10] 张传宇.聚合物驱地层堵塞机理与解堵可行性研究[D].大庆:大庆石油学院, 2003.
- ZHANG C Y. Study on formation plugging Mechanism and plugging removal feasibility of polymer flooding[D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2003.
- [11] 邹剑,陈华兴,高尚,等.SZ36-1油田注聚井和聚驱受益油井堵塞物的组成及成因对比分析[J].石油与天然气化工, 2019, 48(5): 77-82.
- ZOU J, CHEN H X, GAO S, et al. Comparisons of component and formation mechanism of blockages in polymer flooding in injection well and response well in SZ36-1 oil field[J]. Chemical Engineering Oil & Gas, 2019, 48(5): 77-82.
- [12] 李芳,魏俊,王晓超.渤海聚驱油田聚合物堵塞对产液影响分析及改善措施研究[J].天津科技, 2015, 42(10): 36-40.
- LI F, WEI J, WANG X C. Study on the polymer plugging impact on liquid production and improvement measures in Bohai polymer flooding oilfields[J]. Tianjin Science & Technology, 2015, 42(10): 36-40.
- [13] 孙永亮,王小鲁,王玉善,等.柴达木盆地台南气田边水水侵影响因素及剩余气分布特征研究[J].录井工程, 2020, 31(2): 106-112.
- SUN Y L, WANG X L, WANG Y S, et al. Study on influence factors of edge water influx and distribution characteristics of remaining gas in Tainan gas field, Qaidam Basin[J]. Logging Engineering, 2020, 31(2): 106-112.
- [14] BERA A, SHAH S, SHAH M, et al. Mechanistic study on silica nanoparticles-assisted guar gum polymer flooding for enhanced oil recovery in sandstone reservoirs[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2020, 598.
- [15] YU Q N, LIU Y K, LIANG S, et al. Experimental study on surface-active polymer flooding for enhanced oil recovery: A case study of Daqing placanticline oilfield, NE China[J]. Petroleum Exploration And Development, 2019, 46(6): 1206-1217.
- [16] CHEN Z H, ZHAO X T. Enhancing heavy-oil recovery by using middle carbon alcohol-enhanced hot polymer flooding [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2017, 149(1): 193-202.
- [17] ZHOU K, HOU J, LI X N. The effect of well patterns on surfactant/polymer flooding[J]. International Journal of Energy and Power Engineering, 2016, 5(6): 189-195.
- [18] KUDAIVERGENOV S, GUSENOV I, ZHAPPASBAYEV B, et al. Application of polymer flooding technology for enhanced oil recovery[J]. Chemical Bulletin of Kazakh National University, 2015(4): 74-80.
- [19] 姚红田.通过扩大波及体积提高聚驱采收率[J].石油工业技术监督, 2019, 35(6): 8-12.
- YAO H T. Enhancing polymer flooding recovery factor by expanding sweep volume[J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2019, 35(6): 8-12.

(编辑 余聪)