

江苏油田复杂断块低渗透油藏压驱研究与实践

蔡新明¹, 黄艳梅¹, 金忠康²

(1. 中国石化江苏油田分公司勘探开发研究院, 江苏 扬州 225009; 2. 中国石化江苏油田分公司采油二厂, 江苏 金湖 211600)

摘要:针对江苏油田复杂断块低渗透油藏特点,开展了压驱技术研究与应用,确定了压驱选井条件,优选了H59井区作为研究对象,利用cmg软件模拟实现压驱的造缝机理、渗吸机理及低渗透油藏的压敏效应。在数值模拟、物质平衡分析的基础上,确定H59井区压驱井注入量 $3\times 10^4\text{ m}^3$,日注入速度控制在 600 m^3 以下。研究成果为复杂断块低渗透油藏改善开发效果提供了新思路。

关键词:复杂断块油藏;低渗透油藏;压驱;数值模拟

中图分类号:TE357 **文献标志码:**A

Research and practice of pressure flooding in low-permeability reservoirs of complex fault block in Jiangsu Oilfield

CAI Xinming¹, HUANG Yanmei¹, JIN Zhongkang²

(1. Exploration and Development Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China;

2. The second production plant of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Jintu 211600, China)

Abstract: According to the characteristics of low permeability reservoirs with complex fault blocks in Jiangsu Oilfield, it was carried out research and application of pressure flooding technology. The well selection conditions of pressure flooding were determined, and well area H59 was preferred as the research object. And the CMG software was used to simulate the fracture-forming mechanism, imbibition mechanism and pressure sensitive effect of low-permeability reservoir in pressure flooding. Based on numerical simulation and material balance analysis, the injection volume of pressure-driven wells in the H59 well area was determined to be $3\times 10^4\text{ m}^3$, and the daily injection rate was controlled to be below 600 m^3 . The research results provide a new idea for improving the development effect of low-permeability reservoirs with complex fault blocks.

Key words: complex fault-block reservoir; low-permeability reservoir; pressure drive; numerical simulation

引用格式:蔡新明,黄艳梅,金忠康. 江苏油田复杂断块低渗透油藏压驱研究与实践[J]. 复杂油气藏, 2023, 16(3): 343-346.

CAI Xinming, HUANG Yanmei, JIN Zhongkang. Research and practice of pressure flooding in low-permeability reservoirs of complex fault block in Jiangsu Oilfield [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2023, 16(3): 343-346.

江苏油田地质储量以低渗透油藏为主,占比54.5%,采出程度只有17.3%,其中特低渗透油藏地质储量占比9.0%,采出程度只有6.1%。由于储层物性极差,油井需要压裂投产,压裂缝易水窜,注入水无效循环,常规注水开发难以建立有效驱替系统,导致水井“欠注、注不进”、油井“采不出”等问题^[1-4]。压驱注水技术与常规压裂技术^[5]不同,通过采用大排量、高压泵注设备,以高于地层破裂压力的泵注压力,短期、连续地向地层内泵入大量水,补充地层能量,提高油井产能,从而改善水驱开发效果。目前,压驱注水技术已在胜利油田、大庆油田得到广泛的应用^[6,7]。本文根据压驱开发的机理和

特点,优选H59井区开展压驱现场试验,探索老区挖潜提效新路径。

1 压驱机理

压驱快速注水,近井储层孔隙压力增加,迫使岩石发生微破裂,同时开启天然裂缝,形成微裂缝带^[8]。通过压驱形成高压场,促进小孔隙低渗带

收稿日期:2023-04-07;改回日期:2023-06-12。

第一作者简介:蔡新明(1981—),硕士,高级工程师,主要从事油藏开发科研与生产工作。E-mail:caixm.jsyt@sinopec.com。

基金项目:江苏油田分公司科技攻关项目“黄马地区控递减关键技术研究”(JS22009)。

吸水。常规注水为纺锤状波及,压驱形成压裂缝,形成拟水平井,改变了常规压差下的油水运动规律,提高了波及系数^[9-10]。通过提高注入压力,形成拟水平井注水。一方面提高了注采压差,另一方面减小了注采井距,有利于建立有效驱替。

2 压驱数值模拟研究

利用cmg软件,对H59井区的9口井(其中2口注水井、7口采油井)进行压驱数值模拟研究。针对压驱及低渗透油藏特点,主要对造缝机理、渗吸机理、压敏效应进行模拟。

2.1 造缝机理的模拟

通过网格细分模拟人工压裂造缝,利用区块以前压裂井的裂缝监测资料,确定压驱时的裂缝方向、裂缝高度等裂缝参数,模拟油藏压力达到一定数值时生成裂缝(或者裂缝开启)。

(1)通过微地震人工裂缝监测技术确定裂缝的主要展布方向,根据裂缝的方向确定网格的走向。

(2)通过压裂井的压裂曲线、地层压力(孔隙压力)、岩石抗拉强度计算最大最小应力^[11]。计算公式为:

$$\sigma_H = 3\sigma_h - p_f - p_p + S_t \quad (1)$$

式中, σ_H 为最大主应力,MPa; σ_h 为最小主应力,MPa; p_f 为破裂压力,MPa; p_p 为地层压力,MPa; S_t 为岩石抗拉,MPa。

(3)压驱裂缝的描述。首先根据周围井的裂缝监测资料确定裂缝的方向,然后通过网格定义压驱裂缝的半长、方位、开启压力等。当地层应力超过岩石的破裂压力时,裂缝就会开启。

2.2 渗吸机理的模拟

压驱过程既存在水驱油也存在油驱水,需要驱替、渗吸两条相渗曲线(见图1)。驱替相渗曲线通过水驱油试验获得,渗吸相渗曲线通过压汞曲线计算求得(见图2)。

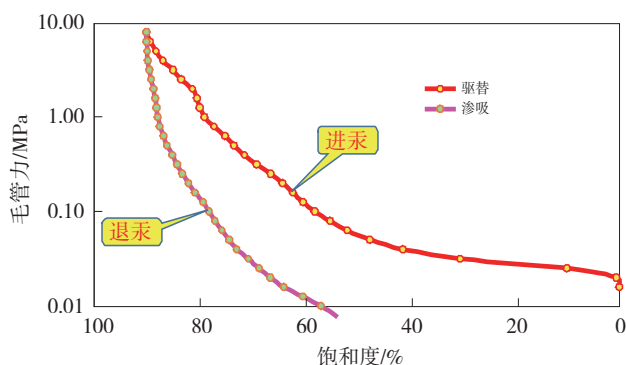


图1 进汞退汞毛管力曲线

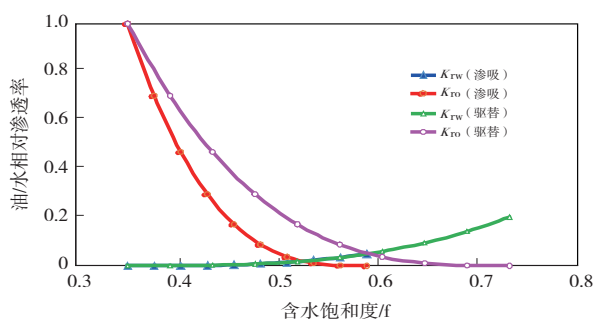


图2 驱替渗吸相渗曲线

2.3 压敏效应的模拟

在开发过程中,尤其是低渗储层随着地层压力逐渐下降,地层岩石受到压缩,岩石中的微小孔道闭合,从而引起渗透率的降低,影响地下油水运动规律。

地层压力上升使初始闭合状态的微裂缝开启,渗透率增加,压力降低后渗透率降低。因此需要在数模中考虑压敏效应。通过岩石分区,描述不同储层渗透率随压力的变化,精细刻画压敏效应。通过室内试验(见图3),建立渗透率随压力变化的关系曲线。

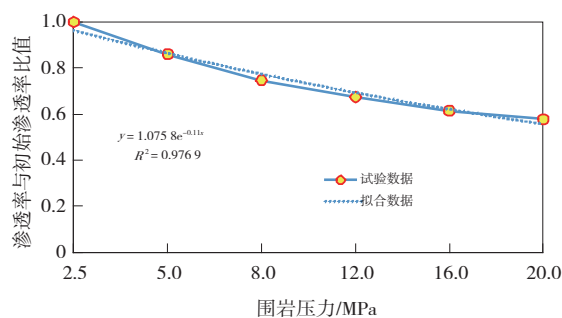


图3 渗透率随压力变化曲线

3 压驱选井

根据压驱注水的机理及江苏油田复杂断块低渗透油藏特点,确定压驱选井规则:①区块封闭、内部断层不发育的井区,防止注入水无效扩散;②能量不足、采出程度低、有压驱的物质基础;③砂体发育,注采连通性好;④应力各向异性应小于0.3,当应力各向异性大于0.3时,易形成单缝,导致暴性水淹;⑤主应力方向与注采方向具有较大夹角,油井压裂裂缝方向与注采方向基本一致的井区不适宜压驱;⑥地面供水管网、水源充足;⑦井筒无破损,固井质量合格,无管外窜。

4 压驱注入参数研究

4.1 注入总量优化

根据物质平衡法推导,注水量与地层压力的关

系如下:

$$\Delta P = \frac{N_p B_o - (W_i - W_p) B_w}{C_i B_{oi} N}$$

(2)

式中, W_i 为累计注水量, 10^4 m^3 ; W_p 为累计产水量, 10^4 m^3 ; N_p 为累计产油量, 10^4 t ; B_w 为地层水体积系数; N 为地质储量, 10^4 t ; B_{oi} 为原始原油体积系数, 小数; B_o 为原油体积系数, 小数; C_i 为综合压缩系数, 小数。

通过公式(2), 计算注水量与地层压力的关系(见图4), 地层破裂压力对应的注水量为总注入量。通过公式(1)计算 H59-1 井区破裂压力为 41.1 MPa, 确定 H59-1 井的压驱注入量为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。为防止水窜, 根据井组动态变化, 边注边观察, 分周期逐级追加注入。

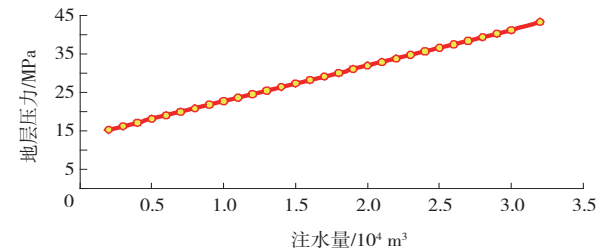


图4 H59-1 井注水量与地层压力的关系

4.2 注入速度优化

注入排量越大, 方向性指进越明显, 注入速度越大, 驱替效果就越强, 水驱波及体积越小, 不利于注水吞吐, 采收率随之降低(见图5)。为确保压驱形成的微破裂带集中于注入目的层, 避免水窜, 在满足注入的条件下, 应适当控制施工排量, 注入速度控制在 $600 \text{ m}^3/\text{d}$ 以下。

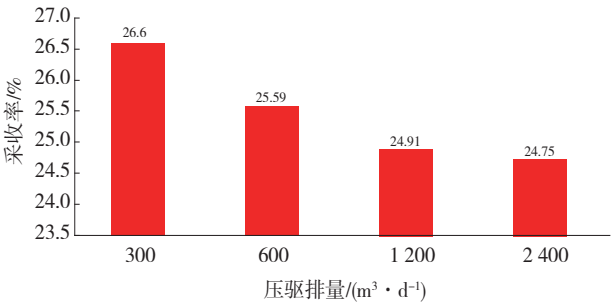


图5 注入速度对采收率的影响

4.3 注入压力优化

压驱时的井底压力与破裂压力应接近, 避免生产主裂缝。根据破裂压力、液柱压力、不同排量时的摩阻压力计算施工压力(见表1)。同时考虑套管抗压及施工时间, 注水施工限压 50 MPa。

表1 不同注入排量下施工压力预测

排量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	破裂压力/MPa	液注压力/MPa	管柱摩阻($\varnothing 73 \text{ mm}$ 油管)/MPa	施工压力/MPa
100	44.1	20.8	4.21	27.5
300	44.1	20.8	4.56	27.9
500	44.1	20.8	4.94	28.2
800	44.1	20.8	5.57	28.9
1000	44.1	20.8	6.03	29.3
1500	44.1	20.8	7.37	30.7

5 现场应用

在数值模拟、物质平衡分析的基础上, 针对每口井编写压驱注入设计方案, 开展压驱注水试验,

取得了一定的效果。
自 2021 年以来, 江苏油田开展了 11 井次压驱注水试验, 覆盖地质储量 $208.96 \times 10^4 \text{ t}$, 累计注入 $15.75 \times 10^4 \text{ m}^3$, 累计增油 3 261t(见表2)。

表2 压驱井组实施情况

压驱井组	控制储量/ 10^4 t	压驱日注水/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	累计注入量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	累增油/t
X27-1	22.5	460	39 537	442.0
X27-1	22.5	600	24 400	22.0
Z100	15.4	460	25 389	1 936.0
SX25-2	23.5	1 100	37 729	0.0
S19-77	16.8	900	15 167	830.0

续表2 压驱井组实施情况

压驱井组	控制储量/ 10^4 t	压驱日注水/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	累计注入量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	累增油/t
W2-8	13.4	200	12 830	31.0
H54	18.9	600	21 024	77.8
H59-1	12.2	600	44 641	510.0
F4-13	38.8	1 400	27 694	162.7
G20-12	14.36	800	7 350	932.0
G20	10.6	500	19 052	206.6

6 结论与建议

- (1)压驱注水能够实现注水井短期内大量注入、形成近井裂缝带,既能有效实现增注,也有利于后期转入常规注水。
- (2)在数值模拟、物质平衡分析的基础上,优化了注入量、注入速度,成功指导了压驱矿场实施,为复杂断块低渗透油藏改善开发效果提供了新思路。
- (3)较大排量压驱易造成水窜,对于江苏油田复杂断块低渗透油藏不适用,下步现场试验应采取小排量、微压驱方案。
- (4)建议对压驱裂缝的扩展进行更深入研究,以精准指导矿场施工。

参考文献:

[1] 赵文智,胡永乐,罗凯. 边际油田开发技术现状、挑战与对策[J]. 石油勘探与开发,2006,33(4):393-398.

[2] 胡文瑞,张世富,杨承宗,等. 安塞特低渗透油田开发实践[J]. 西安石油学院学报(自然科学版),1994,9(1):16-21.

[3] 赵益忠,程远方,刘钰川,等. 启动压力梯度对低渗透油藏微观渗流及开发动态的影响[J]. 油气地质与采收

率,2013,20(1):67-69,73.

[4] 史成恩,万晓龙,赵继勇,等. 鄂尔多斯盆地超低渗透油层开发特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2007,34(5):538-542.

[5] 贾品,程林松,黄世军,等. 水平井体积压裂缝网表征及流动耦合模型[J]. 计算物理,2015,32(6):685-692.

[6] 李扬成,汪玉梅,杨光. 论压裂驱油技术在大庆油田的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量,2017,37(23):163-164.

[7] 张艺川. 萨中水驱三类油层反向压驱[J]. 化学工程与装备,2022,(9):124-125,130.

[8] 姜涛,李积祥,侯洪涛,等. 压驱注水技术在桩西特低渗透油藏的应用[J]. 内蒙古石油化工,2022,48(9):81-84.

[9] 吴忠宝,曾倩,李锦,等. 体积改造油藏注水吞吐有效补充地层能量开发的新方式[J]. 油气地质与采收率,2017,24(5):78-83,92.

[10] 计秉玉,陈剑,周锡生,等. 裂缝性低渗透油层渗吸作用的数学模型[J]. 清华大学学报(自然科学版),2002,42(6):711-713,726.

[11] 王春权,王成虎,江英豪,等. 基于不同岩石抗拉强度值确定最大水平主应力的对比分析[J]. 地下空间与工程学报,2017,13(1):41-47.

(编辑 卞 炜)