

Research on Stable Production Technology of Deep Heavy Oil Injection — Taking Wutonggou Reservoir in Ji 8 Fault Block as an Example

Haoyu Wu¹⁻³

1. School of Earth Sciences and Engineering Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710000, China
2. Shaanxi Provincial Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology, Xi'an, Shaanxi, 710000, China
3. PetroChina Xinjiang Oilfield Company Jiqing Oilfield Operation Area, Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract

The Permian wutong Formation reservoir in Ji-8 fault block is a deep heavy oil reservoir; After years of water injection development, the reservoir has entered a medium to high water cut stage, and the overall development situation has deteriorated, lacking relevant research on injection production system regulation. Firstly, a study was conducted on the regulation of a reasonable injection production system, combining numerical simulation with on-site application to determine a reasonable injection production ratio and oil recovery rate, and a method for injection production regulation was established; Secondly, optimize the water control and oil stabilization process measures. Practical applications have shown that through research on the regulation of the injection production system and related governance measures in this reservoir, a cumulative increase of 7711 tons of oil has been achieved, with water content reduced to 41.6%, achieving stable oil and water control, and increasing the recovery rate from 15% to 22%.

Keywords

deep heavy oil; injection regulation; profile control technology; secondary sand fracturing; intelligent annotation

深层稠油注采调控稳产技术研究——以吉八断块梧桐沟组油藏为例

吴浩宇¹⁻³

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 中国·陕西 西安 710000
2. 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 中国·陕西 西安 710000
3. 中国石油新疆油田公司吉庆油田作业区, 中国·新疆 昌吉 831100

摘要

吉8断块二叠系梧桐沟组油藏为深层稠油油藏; 该油藏经过多年注水开发, 目前进入中高含水期, 整体开发形势变差, 缺乏相关的注采系统调控研究。首先开展了合理注采系统调控研究, 将数值模拟与现场应用相结合, 确定合理的注采比以采油速度, 建立了注采调控的方法; 其次优化控水稳油工艺措施。实际应用表明, 通过对该油藏的注采系统调控研究及相关治理措施, 累积增油7711t, 含水降至41.6%, 做到稳油控水, 采收率由15%提高至22%。

关键词

深层稠油; 注采调控; 调剖技术; 二次加砂压裂; 智能分注

1 引言

吉8断块二叠系梧桐沟组油藏油层埋藏深度平均为1570m, 原油密度达到 $0.935\text{g}/\text{cm}^3$, 地面原油黏度平均可达 $1140.83\text{mPa}\cdot\text{s}$ (50℃情况下), 地层条件下原油黏度范围为 $40\sim 3020\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。2011年吉8断块在原油黏度 $500\text{mPa}\cdot\text{s}$ 的区域进行注水开发试验, 取得良好效果, 预测水驱采收率

可达20%; 经多年注水开发, 进入中高含水期, 开发形势变差。国外对稠油注水的机理、生产规律进行探索性研究, 未形成对这类油藏成熟的注采系统调控政策。

2 油藏概况

吉8断块二叠系梧桐沟组油藏采用150m小井距、反七点井网注水开发。目前油藏进入中高含水期, 含水率由34.9%上升至58.7%, 注采比为0.8, 采油速度为1.8%, 采出程度仅为2.4%, 产量递减至峰值的70.2%。

影响注水开发效果主要有以下4方面因素:

【作者简介】吴浩宇(1997-), 男, 中国河南人, 在读硕士, 从事油藏开发研究。

①储集层内部层理间夹杂泥质粉砂岩，砂层底部发育砂砾岩，受储层非均质影响，注水井吸水强度范围在 $0.01\sim 3.0\text{m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$ ，吸水强度大于 $1.5\text{m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$ 占13.0%，最高吸水强度达 $2.9\text{m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$ 。

②油藏属于小水量温和注水，分注井单井层配水量 $3\sim 10\text{m}^3/\text{d}$ ，测调精度有限，无法保障精细注水。

③低渗区初期多采用加砂强度为 $0.8\text{m}^3/\text{m}$ 的普通压裂，储层改造不充分，导致油井供液不足。

④深层稠油注水，合理开采指标不易确定，注采比、采油速度、含水上升率、油层压力等主要指标缺少研究。

3 合理注采系统调控研究

3.1 合理注采比

3.1.1 数值模拟

根据油藏特征设计了注采比为 $0.8\sim 1.2$ 等五个实验方案。数值模拟结果显示，注采比越高，含水上升速度越快，采收率降低，建议合理注采比范围 $0.9\sim 1.1$ （如图1所示）。

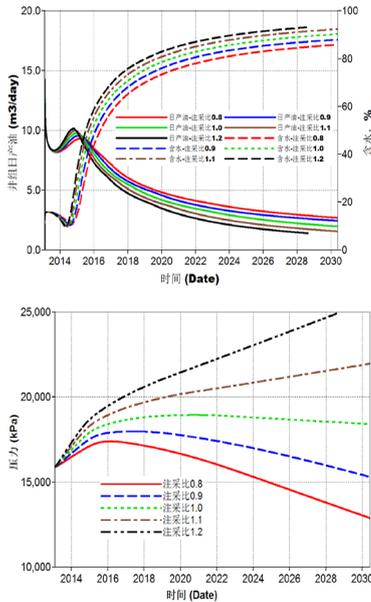


图1 不同注采比压力与日产油关系图

不同注采比开发指标见表1。

表1 不同注采比开发指标表

注采比	井组注水量 ($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$)	井组产液量 ($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$)	生产天数 d	采收率 %	地层保持 程度 %
0.8	16	20	7680	15.6	81.8
0.9	18	20	6045	16.4	96.5
1.0	20	20	4891	17.6	99.4
1.1	22	20	4043	16.9	108.8
1.2	24	20	3486	16.5	123.9

3.1.2 现场应用

将现场试验数据绘制成含水上升率与注采比关系曲线，可知当注采比在1.02时含水上升率最低，注采比为 $0.9\sim 1.1$

较为合理（如图2所示）。

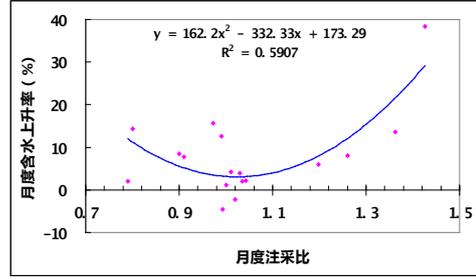


图2 含水上升率与注采比关系图

3.2 合理采油速度

3.2.1 数值模拟研究

对吉8断块梧桐沟组油藏设计采油速度为 $1.5\%\sim 3.0\%$ 四个方案进行数模。结果表明，采油速度为 2.5% 时，采收率高达 17.6% ，效果最好（见表2）。

表2 不同采油速度开发指标表

采油速度 (%)	1.5	2.0	2.5	3.0
生产天数 (d)	3900	4850	4517	2748
采收率 (%)	13.9	16.5	17.6	16.8

3.2.2 现场应用

从吉8断块注水试验区含水上升率与采油速度关系曲线可以看出，当采油速度在 $2.4\%\sim 2.6\%$ ，含水上升率较低（如图3所示），采油速度较为合理。

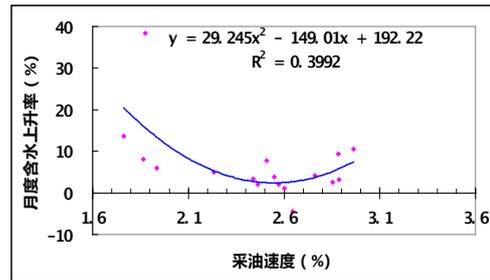


图3 含水上升率与采油速度关系图

4 控水增油工艺措施优化

通过合理注采系统调控政策研究，目前实施两项措施：注水井调剖和低产井压裂增产。结合历年措施实施效果，调剖堵剂强度仍需进一步提高，压裂工艺的参数需进一步优化。

4.1 调堵剂优选及参数优化

目前使用复合型聚合物凝胶体系即HPAM/有机铬调剖体系，属于高强度的本体凝胶，它由交联主体HPAM、有机铬交联剂、固体微粒M-2。目前堵剂使用浓度是：HPAM=0.4%，有机铬交联剂=0.04%~0.40%，M-2=0.5%~5%。其中固体微粒可增强凝胶的强度和稳定性，聚合物破胶后，微粒扩散可进一步起到的堵塞作用从而延长调剖有效期，为增强强度，针对微粒M-2的最佳浓度进行研究。

4.1.1 室内堵剂实验

在凝胶体系中加入少量浓度 0.5%~5% 的 M-2 微粒对成胶时间和凝胶强度进行对比, M-2 微粒浓度 0.5%~4% 时, 随着浓度增加, 凝胶强度及稳定性也随着增强, M-2 用量超过 4% 时, 凝胶强度下降, 因此 M-2 浓度应为 3-4%。

4.1.2 调剖选井原则

根据对油藏的地质认识以及堵剂的研究, 确定了以下选井原则:

①选择注入压力较低, 吸水剖面不均, 水窜的井组及时调剖封堵水窜通道。

②选择砂层厚、层段多, 吸水剖面不均, 层间矛盾较为突出, 含水上升较快的井组, 调整吸水剖面。

4.1.3 矿场实验

挑选 JD8194 井进行调剖, 调剖后井口压力上升 1.4MPa。高渗条带得到一定封堵, 实施后井组含水由 70% 降至 48%。对比调剖前后 JD8194 不稳定试井解释, 显示调剖后渗流模型从高渗通道型向三区复合模型转变。

4.2 压裂工艺优化及参数优化

该油藏采用 150m 小井距、反七点井网注水开发。井网井距小, 压裂易造成水窜, 为控制缝长, 增大缝宽提高导流能力, 优选二次加砂压裂为主体工艺, 该工艺造缝具有导流能力强、有效期长的特点, 裂缝的导流能力主要受到裂宽及渗透率的影响, 这两个参数受缝内砂子的分布状态以及两次加砂比例的影响。在此基础之上, 给出地层当中支撑剂所具有的导流能力和两次加砂比例的影响的关系为:

$$F_{ca} = k_{wv} = 6.12 \times 105 c_s k_s \left(\frac{17500}{1392 p_c + \alpha} \right)^8 \left(1 + \frac{\beta \ln(9.8 \times 10^3 \gamma_\beta)}{e^{k_s - 1}} \right)$$

其中, c_s 为在裂缝内铺一层砂的总重, g/cm^2 ; k_s 为裂缝缝铺砂的总层数, n ; p_c 为裂缝的闭合压力, MPa; γ_β 为地层岩石的布氏硬度。

由上式能够发现, 缝中单层铺砂的厚度越大, 铺砂层数增加, 缝宽延展越大, 裂缝的导流能力提高。为提高压裂效果, 对两次加砂比例进行研究。

通过压裂首次加砂与第二次加砂比例分进行模拟, 对形成的裂缝缝长、缝宽、缝高等参数进行对比, 确定 60%:40% 这个加砂比例较合适, 缝长和缝高相对较小, 缝宽最大, 导流能力最好 (见表 3)。

表 3 不同加砂比例压裂效果对比表

首次加砂: 二次加砂	缝长 (m)	缝宽 (m)	缝高 (m)
20%: 80%	32	2	23.5
30%: 70%	30	3	22
40%: 60%	29.4	3.8	21.4
50%: 50%	28.6	5.7	20
60%: 40%	28	6	19.2
70%: 30%	34	6.2	26.5
80%: 20%	35	6.3	27

5 实时调控精细注水技术研究

该油藏属于小水量温和注水, 分注井单井层配水量 3~10m³/d, 为精细注水, 采用有缆智能分注技术, 实现分注井各层注水量、单层注入压力和地层温度等生产参数实时监测、自动测调, 解决了测调遇阻、测调精度不足等问题。

5.1 现场应用

目前现场共应用 5 口井, 以 JD8215 为例: 调试后注入剖面测试, 实测注水量与配注水量一致, 误差率低于 2%。该工艺满足了地质需要。

5.2 控水增油措施实施效果

①在合理注采调控研究的指导下, 油藏整体注采比提至 1.0, 采油速度由 1.8% 提至 2.3%。针对含水上升区域实施调剖 5 井次, 累积增油 3375t, 油藏含水下降至 41.6%; 低渗区采用优化后的二次加砂比例, 二次加砂压裂 3 井次, 累积增油 2050t。注水井应用有缆智能分注技术 5 井次, 分注合格率从 75.7% 提高至 96.2%, 减少无效注水 1008m³, 累计增油 1260t。

②预测综合治理后油藏采收率由 15% 提高至 22%。

6 结论

①油藏合理注采比范围 0.9~1.1, 合理采油速度为 2.4%~2.6%。在此范围内, 含水上升率较低, 采收率最高可达 22%。

②复合型聚合物凝胶体系即 HPAM / 有机铬调剖体系中微粒 M-2 的最佳浓度为 3%~4%。

③对于小井距的稠油注水开发油藏, 应优选二次加砂压裂工艺, 首次加砂与二次加砂的比例应为 60% : 40%, 导流能力最好。

④智能分注工艺较常规分注工艺测调精度高, 可提高配注合格率, 具有广泛的推广应用价值。

参考文献

- [1] 谢建勇, 石彦, 梁成钢, 等. 昌吉油田吉7井区稠油油藏注水开发原油黏度界限[J]. 新疆石油地质, 2015, 36(6): 726-728.
- [2] 彭永灿, 史艳玲, 崔志松, 等. 中深层稠油油藏有效开发方式探讨——以昌吉油田吉7井区梧桐沟组油藏为例[J]. 石油天然气学报, 2014(12): 183-186.
- [3] 罗鸿成, 梁成钢, 单国平, 等. 深层稠油油藏常温注水试验效果评价——以昌吉油田吉008试验区为例[J]. 新疆石油天然气, 2014, 10(4): 56-60.
- [4] 武建明, 王洪忠, 陈依伟, 等. 聚合物驱提高采收率技术在昌吉油田吉7井区的研究与应用[J]. 石油与天然气化工, 2018, 47(6): 64-67.
- [5] Tang G, Xue L, Zhou T, et al. Study on Influencing Factors of Heavy Oil Waterflooding Development[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 300(2): 022086 (5pp).
- [6] 唐维民. 大庆油田二次加砂压裂工艺技术研究[J]. 化学工程与装备, 2019(5): 35-36.