

稠油水平井多元热流体吞吐井间窜流规律研究

姜 杰 宫汝祥 李敬松 孙永涛 杨 兵

中海油田服务股份有限公司油田生产研究院, 天津 300450

摘 要:稠油多轮次吞吐热采过程中的井间窜流对热采整体效益影响很大,目前的研究主要是定性分析,难以评价其影响程度。在分析水平井多元热流体吞吐窜流特征基础上,通过数值模拟方法从储层物性、流体黏度及生产动态三个角度,定量研究了窜流影响因素的敏感性大小,并引入“变异系数法”筛选出关键影响因素。通过分析得出关键影响因素为渗透率、油层厚度、注入强度、注采压差。该研究结果可为制定降低热采井窜流风险措施提供参考。

关键词:多元热流体;窜流规律;水平井

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2014.05.012

0 前言

根据稠油油藏热采实践可知,进行蒸汽吞吐或驱替时,由于地层非均质性或注入压力差异等因素,容易出现注入蒸汽的井间窜流现象。而一旦发生蒸汽窜流,则油藏加热不均匀,从而导致热流体波及体积小、热效率低、经济效益差等问题。此外,窜流也会对邻井生产带来一定影响。

多元热流体技术是利用航天火箭发动机燃烧喷射原理,在高压燃烧室内混合燃烧燃料、高压空气及高压水,产生高温高压水蒸汽、 CO_2 及 N_2 等混合气体注入地层的热采技术。该技术目前虽然已在渤海稠油油田取得较好的开发效果^[1],但随着热采稠油油藏开发程度的不断提高,将不可避免地出现蒸汽及非凝析气的窜流现象,若不及时采取前期预防和后期治理措施,窜流加剧,将会影响多元热流体吞吐的热采效果,因此有必要对多元热流体吞吐井间窜流影响因素及规律进行定量分析,并通过敏感性分析筛选出关键因素,为制定降低窜流风险及影响的治理措施提供借鉴。

1 井间窜流特征分析

国内稠油热采经验表明,井间窜流对稠油热采效果

的影响主要表现为被窜油井产量大幅度波动或突降,同时注热井注汽量散失造成加热体积减小、注汽周期产量降低、吞吐效果变差,而热流体的单向或多向突进,也容易造成油藏储量动用不均,影响整体开发效果。

影响稠油井间窜流的主要因素包括:储层的非均质性,存在微裂缝或高渗条带;注汽参数不合理,井间注采压差大,蒸汽对弱胶结颗粒的冲刷;固井质量差,井距过小等。因此,可通过建立井间窜流模型,利用数值模拟方法从静态、动态两个角度分析井间窜流的影响因素,并通过敏感性分析筛选出关键因素。

2 窜流影响因素分析

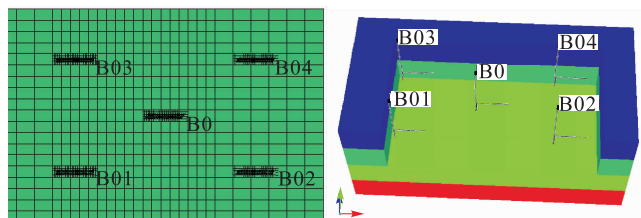
2.1 井间窜流模型建立

渤海 X 油田是我国海上具有高孔高渗特征的稠油油藏,该油田已实施过多元热流体吞吐试验,取得了较好的开发效果。本文在该油田实际地质油藏特征及井网分布的基础上,选取“一水平井注-四水平井产”的注采井组为研究对象,利用 CMG-Stars 软件建立多元热流体井组驱替模型,并进行数值模拟研究。井间窜流井网分布及数值模拟模型见图 1。

收稿日期:2014-03-12

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”——海上稠油热采新技术(2011 ZX 05024)

作者简介:姜 杰(1986-),男,湖北黄冈人,工程师,硕士,主要从事稠油热采油藏工程及数值模拟研究。



a) 井间窜流井网分布 b) 数值模拟模型

图1 井间窜流井网分布及数值模拟模型

2.2 单因素敏感性分析

利用数值模拟方法,分别从静态、动态两个角度^[2]进行敏感性分析,其中静态因素主要包括渗透率、油层厚度、原油黏度,动态因素主要包括注入强度、注采压差、注入速度。

2.2.1 渗透率

利用数值模拟方法分别计算了渗透率为 $2\,000 \times 10^{-3}$ 、 $4\,000 \times 10^{-3}$ 、 $6\,000 \times 10^{-3}$ 、 $8\,000 \times 10^{-3}$ 、 $10\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时的窜流系数,见图2。由图2可见,油藏渗透率大小对窜流程度的影响较大,随油藏渗透率的增加,气体流动性更强,扩散面积更大,窜流更加严重,窜流系数也随之增加。

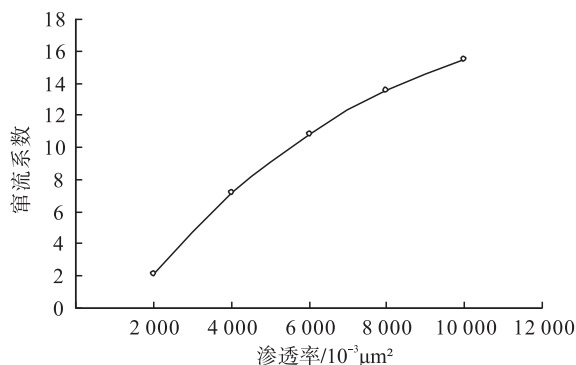


图2 油层渗透率与井组窜流程度关系

2.2.2 油层厚度

模拟计算了油层厚度为3、6、9、12、15 m时的窜流系数,见图3。由图3可见,油层厚度越薄,气体非均质性突进的风险越大。

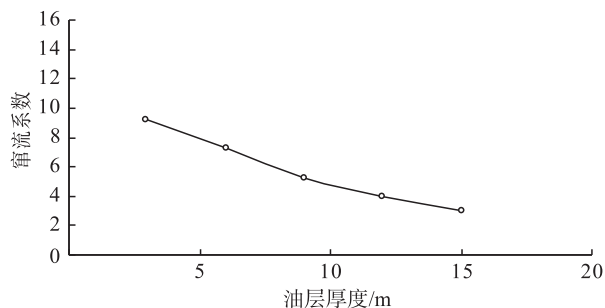


图3 油层厚度与井组窜流程度关系

2.2.3 原油黏度

模拟计算了原油黏度为150、400、665、800、1 000 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 时的窜流系数,见图4。由图4可见,随原油黏度的增加,窜流系数变化幅度较小,表明原油黏度不是影响窜流程度的主要因素。

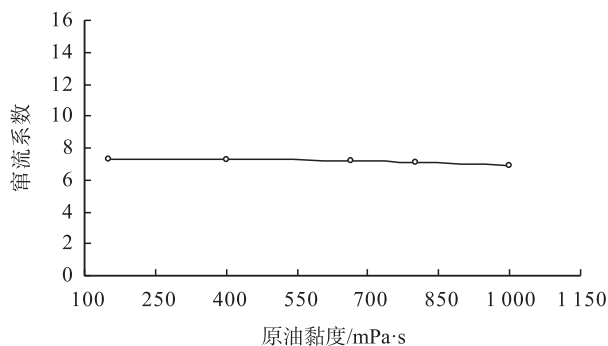


图4 原油黏度与井组窜流程度关系

2.2.4 注入强度

模拟计算了注入强度分别为10、14、18、22、26 m^3/m 时的窜流系数,见图5。由图5可见,随着注入强度的增大,窜流系数增大。这主要是由于随注入强度的增加,不断注入的热水和非凝析气体对地下存入的流体产生推动作用,使气体的扩散范围增大,窜流更加严重。

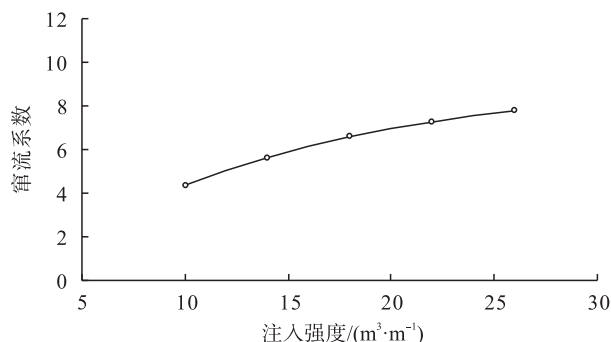


图5 注入强度与井组窜流程度关系

2.2.5 注采压差

不同注采压差对窜流系数的影响见图6。由图6可见,注采压差对窜流程度的影响较大,随注采压差的增加,注入流体更容易向压力较小的生产井窜流,窜流更加严重,窜流系数也随之增加。

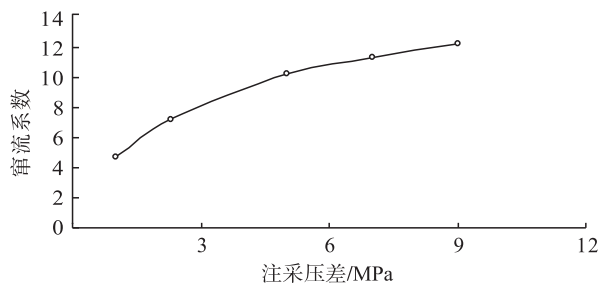


图6 注采压差与井组窜流程度关系

2.2.6 注入速度

注入速度与井组窜流程度关系见图7。由图7可见,从油藏的角度分析注入速度对窜流程度影响较小,但实际注入时,注入速度过快将导致地层容易破裂,井间窜流风险增加。

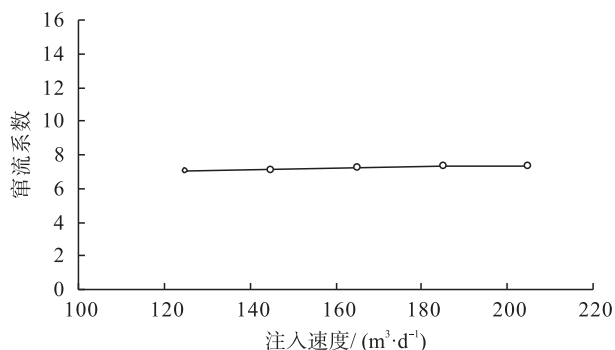


图7 注入速度与井组窜流程度关系

2.3 关键影响因素筛选

在多元热流体吞吐窜流影响规律单因素敏感性分析基础上,运用变异系数法对影响开发效果的关键因素进行筛选,窜流影响因素变异系数对比见图8。由图8可见,渗透率、油层厚度、注入强度、注采压差对井间窜流的影响较大,为关键影响因素。因此进行前期窜流风险预测和方案优化设计时需优选考虑这些关键影响因素,以降低窜流风险。

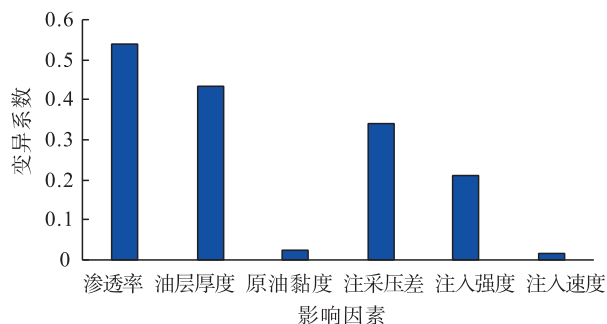


图8 窜流影响因素变异系数对比

3 窜流防治措施研究

结合海上稠油油田地质特征、热采工艺条件、海上平台空间的限制及上述静态和动态因素的敏感性规律分析结果,提出针对性治理措施。

3.1 优化注入速度和强度

在油层未有效采出的情况下,注入速度过快或注入强度过大将造成地层容易破裂,导致井间窜流的发生或加剧窜流程度,近井筒地带却不能有效加热。因此从动态因素的角度出发,注入速度和注入强度的设计要遵循产量最大化和效益最优化的原则,同时考虑储层物性、流体性质、注采状况等的影响。

3.2 组合式多元热流体吞吐

组合式多元热流体吞吐^[3-5]即对同一区域生产同层位有窜流关系的多口油井同时注入多元热流体,利用注热压力互相抑制窜流,这种方式能集中建立井组的温场和压力场,增大热流体加热油层的有效体积,减少热能散失量,从而改善热采效果。因此,如果现场设备条件允许,可从注入方式考虑进行组合式多元热流体吞吐工艺,以减小井间压力差异。

3.3 化学剂辅助多元热流体调剖吞吐

目前化学剂辅助多元热流体调剖吞吐技术主要为高温泡沫调剖吞吐技术^[6-10],该技术可产生大量泡沫以封堵储层高渗带,从而提高蒸汽波及面积,增加低渗透层吸汽量,提高注汽效率。同时该技术优点在于对地层伤害较小,经过一定时期后,其泡沫可缓慢、自然解堵,且施工简单、方便。因此,从静态角度入手,可考虑利用高温泡沫辅助多元热流体吞吐工艺降低井间窜流的程度。

4 结论

a) 通过数值模拟方法定量分析水平井多元热流体吞吐井间窜流影响因素规律,得出窜流影响因素敏感性大小依次为:渗透率>油层厚度>注采压差>注入强度>原油黏度>注入速度。

b) 通过“变异系数法”筛选出的关键影响因素为渗透率、油层厚度、注入强度、注采压差。因此在进行窜流风险预测和方案优化设计时应优先考虑这些因素,以降低窜流风险。

c) 提出了优化注入速度和强度、高温泡沫辅助多元热流体吞吐、组合式多元热流体吞吐等降低井间窜流的针对性治理措施。

建议在现场应用中,根据多元热流体吞吐井组窜流风险大小分析,同时结合工艺条件及平台空间大小等因素综合考虑治理措施。

参考文献:

- [1] 顾启林,孙永涛,郭娟丽,等. 多元热流体吞吐技术在海上稠油油藏开发中的应用[J]. 石油化工应用, 2012, 31(9): 8-10. Gu Qilin, Sun Yongtao, Guo Juanli, et al. Application of Complex Thermal Fluid Huff and Puff Technology in Offshore Heavy Oil Reservoir Development [J]. Petrochemical Industry Application, 2012, 31(9): 8-10.
- [2] 张勇,孙玉环,孙旭东. 杜84断块超稠油蒸汽吞吐汽窜机理分析及防窜措施初探[J]. 特种油气藏, 2012, 9(6): 31-36. Zhang Yong, Sun Yuhuan, Sun Xudong. Analysis of Steam Channeling Mechanism in Cyclic Steam Stimulation of Super

- Heavy Oil in Block Du84 and Research of Anti-Channeling Measures [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2012, 9(6): 31-36.
- [3] 周明升. 组合式蒸汽吞吐技术在超稠油油藏中的应用[J]. 西部探矿工程, 2006, 18(12): 107-108.
- Zhou Mingsheng. Application of Integral Cyclic Steam Stimulation Technology in Super Heavy Oil Reservoir [J]. West-China Exploration Engineering, 2006, 18(12): 107-108.
- [4] 赵清. 河南油田新庄南三块蒸汽吞吐综合治理技术对策[J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2010, 32(5): 331-333.
- Zhao Qing. Cyclic Steam Stimulation Comprehensive Countermeasures in Xinzhuang South 3 Block Heavy Oil Reserves [J]. Journal of Oil and Gas Technology (JJPI), 2010, 32(5): 331-333.
- [5] 朱立忠, 魏钢, 李景彩. 王庄油田郑411区块汽窜分析及防治措施[J]. 内蒙古石油化工, 2011, 37(2): 16-21.
- Zhu Lizhong, Wei Gang, Li Jingcai. Analysis and Governing Measures of Steam Channeling in Wangzhuang Oilfield Zheng-411 Block [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2011, 37(2): 16-21.
- [6] 凌建军, 宋振宇, 王珏, 等. 蒸汽吞吐阶段的“汽窜”现象实质研究[J]. 江汉石油学院学报, 1996, 18(1): 58-61.
- Ling Jianjun, Song Zhenyu, Wang Jue, et al. A Study of the Essential of “Steam Channeling” in the Process of Steam Soaking [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 1996, 18(1): 58-61.
- [7] 张宗辉, 孙来喜. 新浅45断块稠油蒸汽吞吐汽窜特征及成因分析[J]. 四川文理学院学报, 2012, 22(5): 54-58.
- Zhang Zonghui, Sun Laixi. Xinqian 45 Block Steam Channeling Characteristics and Genetic Analysis of Heavy Oil Steam Stimulation [J]. Sichuan University of Arts and Science Journal, 2012, 22(5): 54-58.
- [8] 杨刚. 稠油热采井氮气泡沫封窜技术研究与应用[J]. 石油化工应用, 2011, 30(7): 46-47.
- Yang Gang. Technical Study and Application of Channeling Sealing by Nitrogen Foam for Heavy Oil Thermal Recovery Well [J]. Petrochemical Industry Application, 2011, 30(7): 46-47.
- [9] 华红玲, 廖科焘, 肖杰, 等. 稠油热采高效低能耗集输技术探讨[J]. 天然气与石油, 2014, 32(1): 47-49.
- Hua Hongling, Liao Kexi, Xiao Jie, et al. Discussion on High Efficiency and Low Energy Consumption Gathering and Transportation Technology in Heavy Oil Thermal Recovery [J]. Natural Gas and Oil, 2014, 32(1): 47-49.
- [10] 万海乔. 深层稠油天然气吞吐增产技术实施效果评价[J]. 天然气与石油, 2013, 31(6): 63-65.
- Wan Haiqiao. Evaluation on Implementation Effect of Deep Heavy Oil and Gas Stimulation Technology [J]. Natural Gas and Oil, 2013, 31(6): 63-65.

中国石油哈法亚二期 1 000×10⁴ t 产能项目投产

伊拉克当地时间 2014 年 8 月 18 日 10 时 10 分, 随着哈法亚二期启动原油外输, 中国石油哈法亚二期 1 000×10⁴ t 产能项目顺利投产。这标志着中伊能源合作又向前迈出坚实步伐, 中国石油中东油气合作区揭开历史新篇章。

中国石油哈法亚二期项目投产, 是中国石油携手合作伙伴道达尔、马来西亚石油公司取得的又一项辉煌成果。哈法亚油田由此迈上千万吨大油田新台阶。这是在伊拉克第二轮国际石油合作项目中, 唯一启动并实现二期投产的项目。哈法亚项目也是继第一个实现初始商业产量后, 再度领跑伊拉克高端国际油气市场的项目。

4 年来, 这个项目管理者通过“最快的速度、最少的投资、最高的产量”战略成功实践, 为项目二期、三期产能建设有序衔接奠定坚实基础。

(周舟 摘自中国石油新闻中心网)