

注采耦合技术提高复杂断块油藏水驱采收率

——以临盘油田小断块油藏为例

王建

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要:复杂断块油藏具有断块小、纵向上小层多的特点,注水开发后期剩余油分布受控于平面和层间非均质性,常规注水提高采收率较为困难。应用注采耦合技术可提高复杂断块油藏剩余油的动用程度,以临盘油田三角形封闭断块油藏为数值模拟研究模型,结合其地质特点及剩余油分布将其划分为7个特征区,研究注水和开采过程中各特征区的压力、剩余油饱和度以及液流速度的变化特征。结果表明,注采耦合技术注水阶段在压差作用下,中心区剩余油被水驱至夹角区和夹角间区,并在开采阶段随压力降低而采出;中心区的剩余油饱和度动用程度最高,为5.2%。利用数值模拟方法对注采耦合周期内的压力恢复水平、压力保持水平以及注采比等参数进行了优化,优化结果为油藏压力系数保持在0.8~0.9,采用注采比为1.5恢复压力。注采耦合技术通过复杂断块油藏内压力的交替变化,改变油藏内流场,扩大油藏水驱波及面积,从而提高复杂断块油藏的剩余油动用程度和水驱采收率。

关键词:复杂断块油藏 注采耦合 特征区 数值模拟 水驱采收率

中图分类号: TE347

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)03-0089-03

随着胜利油区复杂断块油藏开发的不断深入,进入高含水开发后期的单元越来越多,复杂断块油藏的地质、开发特点决定了开发单元中滞留大量的剩余油,且具有“普遍分布、局部富集”的特点^[1]。有效动用高含水期复杂断块油藏剩余油仍是一个难题^[2]。不稳定注水是一种较早提出的应用水动力学方法来提高水驱采收率的技术,因其能显著改善油藏高含水期的水驱效果而得到了广泛关注和研究^[3-5],随后发展为注采井双向调整的不稳定注采技术^[6],在复杂断块油藏的应用中虽取得了一定的成功^[7-9],但该技术仍存在以下不足:①有效性不明确,有效程度未取得统一认识;②主要的作用力、作用部位、作用程度等机理不明确。

分层系开发能够解决吸水和采液不均的难题^[7-8],但复杂断块油藏小层多,无法通过分层系开发解决层间矛盾。如何扩大注入水的平面波及面积并解决层间非均质性矛盾是复杂断块油藏高含水期提高水驱采收率的关键。为此,笔者以三角形封闭断块油藏模型为研究对象,结合其地质特点及剩余油分布,运用数值模拟方法对注采耦合的注水和采油过程中压力、剩余油饱和度和液流速度的变化特征进行研究,深入探讨注采耦合技术提高复杂断块油藏水驱采收率。

1 注采耦合数值模拟

1.1 剩余油特征区划分

选取典型的三角形封闭断块油藏,即临盘油田盘43-6区块,运用数值模拟方法研究其剩余油分布,通过注采耦合技术提高水驱采收率。根据盘43-6区块构造特征及流体特征,用Petrel软件建立地质模型,将地质模型导入CMG数值模拟软件,同时导入区块生产历史数据形成油藏数值模拟模型,用IMEX模块进行运算。数值模拟历史拟合发现,盘43-6区块剩余油主要分布在夹角区和夹角间区(图1),而中心区注采井间的主流线部位,剩余油饱

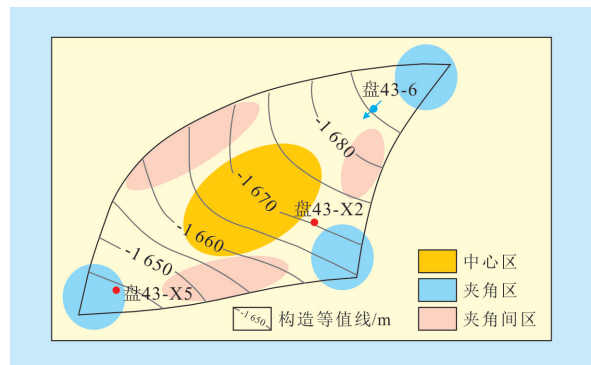


图1 盘43-6区块剩余油特征区划分

收稿日期:2013-03-16。

作者简介:王建,男,高级工程师,博士,从事油藏工程综合研究。联系电话:(0546)8715280,E-mail:dkywj@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“断块油田特高含水期提高水驱采收率技术研究”(2011ZX05011-003)。

和度偏低。根据其地质特点及剩余油分布将研究区划分为1个中心区、3个夹角区和3个夹角间区。

1.2 单层复杂断块油藏注采耦合

在盘43-6区块数值模拟历史拟合基础上,分析其油藏压力和剩余油分布特点,设定注采耦合技术政策并模拟其开发效果;探讨注采耦合期间特征区的压力、剩余油饱和度以及液流速度的变化规律。模拟方案设计为注水阶段注水井开井,生产井关闭;开采阶段生产井开井,注水井关闭。

数值模拟结果表明,中心区在注水阶段剩余油饱和度呈现下降趋势;在开采阶段压力和剩余油饱和度迅速降低(图2a),相对于初始值剩余油饱和度动用程度达到5.2%。观察注水阶段的液流方向发现,中心区剩余油填充到夹角间区;使夹角间区剩余油饱和度呈现上升趋势(图2b),夹角间区开采阶段的压力和剩余油饱和度迅速降低,液流方向指向中心区,相对于初始值剩余油饱和度动用程度达到1.1%。高部位夹角区(图2c)在注水阶段和开采阶

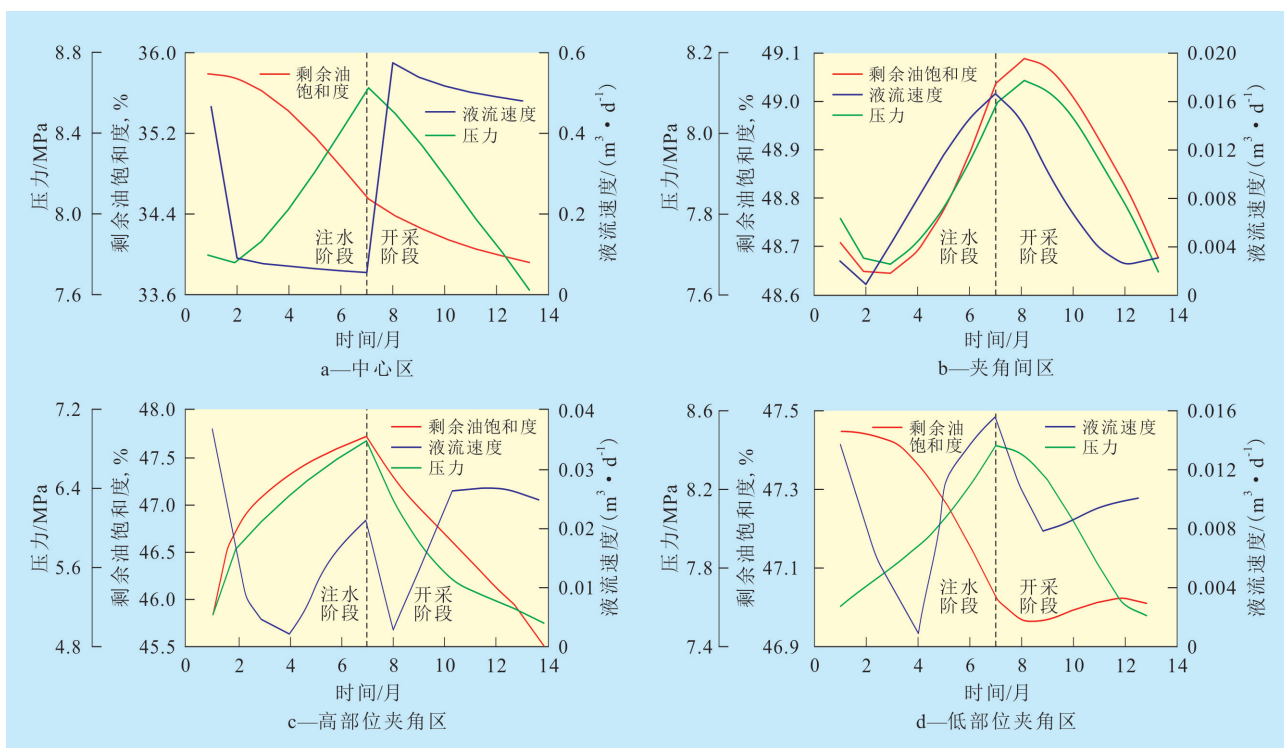


图2 复杂断块油藏特征区注采转换过程动态特征

段出现2次液流反向,压力和剩余油饱和度在注水阶段上升,在开采阶段下降,注采过程中液流速度较慢,在注水阶段末期剩余油富集,结束时剩余油饱和度与初始值基本一致;低部位夹角区(图2d)虽然注采耦合过程中发生了液流转向,但其绝对值太小,综合含水率和产油量的数值基本无变化。

结合构造位置对剩余油分布进行分析,结果表明:①在夹角间区,持续注采时液流速度较慢,剩余油饱和度变化小,开采阶段剩余油开始启动;②在低部位夹角区,注水阶段发生液流转向,但是结果显示其动用程度较小;③在高部位夹角区剩余油的动用程度为1.9%,明显高于低部位夹角区,分析认为主要受重力作用影响。流场水动力学分析表明,夹角间区的液流方向指向主流线区,是中心区的主要供油区,流场变化主要是区域压差导致的。

由此可见,注采耦合技术通过开关井能避免注

采井间流线直接沟通,油藏压力波动能改变油藏内流场分布并扩大其水驱波及范围,最终提高复杂断块油藏的剩余油动用程度。

1.3 多层复杂断块油藏注采耦合

针对复杂断块油藏纵向上多层的特点,整装油藏或者较大断块一般进行分层系开发^[7],但是由于复杂断块油藏面积较小而无法实现分层系开发。井下调节开关能够实现注水层位和采油层位的随时转换,从而使注采耦合技术能够更好地应用到复杂小断块油藏上。通过地面切换开关和井下分隔装置把多层油藏分成上、下2个相对独立的注采单元,以上层系为例,其注水阶段对应生产井下层系生产,下层注水储能;当开采和注水达到转换条件后,转换为上层系生产下层系注水储能。如此交替转换会使注采耦合和多层断块特征结合在一起,细分层系内注入水波及面积扩大,剩余油二次富集。

注采耦合技术既实现了油藏内压力的周期波动又保证相对稳定的采油速度,达到了提高水驱采收率的效果。

数值模拟分析结果表明,压力保持水平是注采耦合增产效果的主要影响因素。优化参数使油层压力系数恢复到0.8时,综合含水率保持平稳,而随着压力系数的不断增大,综合含水率呈现初期低、后期直线窜高的现象,且一直维持较高水平。考虑到开采阶段地层能量和老井管柱承受能力,试验中恢复地层压力系数到0.9左右,开采阶段地层压力系数降至0.8即开始转换注采耦合周期。数值模拟优化压力恢复的最佳方式,初期采用高注采比,为1.5,使复杂断块油藏压力系数恢复到0.9,然后采用注采比为1进入开采阶段。

由于复杂断块油藏油层形状和水动力学条件的复杂性导致剩余油动用差异大,所以对于不同的复杂断块油藏需要具体设计注采耦合的压力保持水平。应用注采耦合技术时,层系耦合以及油水井耦合为一体,保证上、下层系注采耦合时能量补给充足和能量释放完全。

2 应用实例

临盘油田临17-102区块含油面积为 0.25 km^2 ,石油地质储量为 $10\times 10^4\text{ t}$,有含油小层6个,其中主力含油小层4个,有效厚度为 $0.5\sim 3.6\text{ m}$,具有常温常压、中孔中渗透复杂断块油藏特征。截至2011年8月,累积产油量为 $0.93\times 10^4\text{ t}$,累积产水量为 $4.29\times 10^4\text{ m}^3$,综合含水率为96.7%,采出程度为9.4%。临17-102井于2011年8月关井,处于技术废弃状态。选取临17-102井组开展注采耦合矿场试验,在临17-102井关停的状态下,水井临17-103注水并未间断。

注采耦合试验过程中对该区块的临17-103井注水,截至2012年6月,累积注水量为 $8.09\times 10^4\text{ m}^3$,注采比为1.46,地层能量充足;此时关闭注水井,高部位夹角区临36-10井开井生产,产油量为 7.5 t/d ,综合含水率为52%,较该区块关停时综合含水率下降约45%。试验结果表明,生产井的能量不但得到补充,而且综合含水率也大幅下降。

临17-102区块数值模拟研究发现,注水阶段夹

角区剩余油富集,注入水把该断块压力系数提高到1.2左右,在该开采阶段液流方向指向生产井,富集的剩余油得以采出,复杂断块油藏高含水期注采耦合技术能够有效提高水驱采收率。

3 结束语

注采耦合技术适用于断块油藏中面积小且纵向小层多的复杂小断块,能提高单层复杂断块油藏的平面动用程度,减少多层复杂断块油藏的层间差异,同时在不增加钻井数的情况下,实现油藏分层系开发和不稳定注水的有机结合。

复杂断块油藏高含水期在注采耦合注水阶段积累较大弹性能量,因开采阶段关闭注水井,避免注采井间形成流线,最终使其夹角区和夹角间区的剩余油得到充分动用。从临17-102区块试验情况来看,注采耦合能起到降水稳油作用,具有较高的经济效益。对于不稳定注采耦合技术相适应的油藏筛选条件、合理压力、最佳转换时机等相关技术政策界限还需要进一步明确,并在理论结合实践的基础上进一步完善。

参考文献:

- [1] 韩大匡.准确预测剩余油相对富集区提高油田注水采收率研究[J].石油学报,2007,28(2):73-78.
- [2] 韩大匡.关于高含水油田二次开发理念、对策和技术路线的探讨[J].石油勘探与开发,2010,37(5):583-591.
- [3] 王建.胜利断块油藏人工边水驱提高采收率技术研究[J].科学技术与工程,2012,20(15):3 598-3 601.
- [4] 刘睿,姜汉桥,刘同敬,等.复杂小断块边水油藏采收率预测新方法[J].油气地质与采收率,2010,17(1):64-67.
- [5] 董平志,毛振强,晋战稳,等.整体不稳定注水技术在大芦湖油田的应用[J].特种油气藏,2009,16(3):68-70.
- [6] 刘玉梅,刘丹,徐颖,等.孤东油田不稳定注采压差及注采比的确定[J].大庆石油学院学报,2005,29(1):46-48.
- [7] 王端平,杨勇,牛栓文,等.东辛复杂断块油藏层块分类评价方法与调整对策[J].油气地质与采收率,2012,19(5):84-87.
- [8] 王端平,杨勇,许坚,等.复杂断块油藏立体开发技术[J].油气地质与采收率,2011,18(5):54-57.
- [9] 王学忠,曾流芳,谷建伟,等.疏松砂岩油藏不稳定注水机理研究及矿场实践[J].大庆石油地质与开发,2008,27(3):59-63.

编辑 王星