

# 夹层对不同韵律底水油藏开发效果的影响机理

——以苏丹H油田为例

饶良玉,吴向红,李香玲,李贤兵

(中国石油勘探开发研究院,北京 100083)

**摘要:**以苏丹块状底水油藏H油田为原型,运用数值模拟方法建立了正韵律、反韵律、复合正韵律和复合反韵律底水油藏的数值模型,研究了不同夹层半径、厚度及分布条件下各种韵律油藏的开发效果,并提出了相应的开发技术对策。结果表明,对不同韵律底水油藏,含夹层油藏的开发效果均得到不同程度的改善,控水效果随着夹层半径的增大而变好;夹层厚度对开发效果影响不大,低含水期正韵律底水油藏和中高含水期反韵律底水油藏控水效果相对较好;夹层分布在距离油水界面较近或存在多夹层情况下开发效果好;剩余油主要分布在夹层之间和夹层下部。不同韵律底水油藏的开发策略主要为充分利用隔夹层优化射孔,结合垂向与水平渗透率之比控制采油速度和适时实施人工夹层等减缓底水锥进速度。H油田开发实践表明,充分利用隔夹层优化射孔并部署加密水平井并取得较好的开发效果。

**关键词:**底水油藏 夹层 数值模拟 控水稳油 开发对策

**中图分类号:**TE349

**文献标识码:**A

**文章编号:**1009-9603(2013)01-0096-04

夹层的存在能改变地层渗流场的分布,使流体运动发生改变<sup>[1-2]</sup>。目前夹层研究主要集中于总结夹层分布模式及其对剩余油分布和开发效果的影响<sup>[3-7]</sup>。王延章等总结了不同的夹层分布模式及对剩余油分布的影响<sup>[3-5]</sup>;陈程等研究了厚油层夹层对开发效果的影响<sup>[6]</sup>;刘睿等推导了厚油层内夹层对垂向渗流控制作用的函数关系式,量化了夹层参数与厚油层垂向流动能力的关系及对采收率的影响规律<sup>[7]</sup>;张宗橧研究了特高含水期正韵律厚油层夹层对水平井开发效果的影响<sup>[8]</sup>;束青林研究了孤岛油田夹层对剩余油分布的影响<sup>[9]</sup>;崔文富研究了胜坨油田反韵律油层夹层分布及其对剩余油分布的影响<sup>[10]</sup>。

对厚油层而言,重力及韵律性对油藏开发效果影响较大,夹层在不同韵律油藏中对剩余油的控制及开发效果的影响程度不同。而中外对夹层分布对不同韵律油藏开发效果影响的系统研究较少,因此研究夹层分布对不同韵律油藏开发影响的机理并提出相对应的开发策略尤为必要。笔者以苏丹H油田为原型,设计了不同夹层半径、夹层厚度及夹层分布部位,研究其对不同韵律油藏开发效果的影响,提出了不同韵律底水油藏的开发对策。

## 1 模型建立

以苏丹典型块状底水油藏H油田为原型,运用Eclipse数值模拟软件建立正韵律、反韵律、复合正韵律和复合反韵律底水油藏的径向流数值模拟模型。模型的储层厚度为30 m,有效厚度约为20 m,纵向上划分网格尺寸为1 m,底水采用无限大水体,平均渗透率为 $2 \mu\text{m}^2$ ,平均孔隙度为0.24,平均单井控制储量为 $211.8 \times 10^4 \text{ t}$ ,生产时间为5 a,平均年采油速度为2%。

设计了4种不同韵律底水油藏夹层规模与分布部位开发方案(表1)。为了验证模型的合理性,将基础机理模型模拟数据与实际数据进行了对比,拟合效果很好(图1),表明该地质模型能够较准确地反映油藏的地质及开发特征。

表1 数值模拟机理模型方案设计

韵律性	夹层宽度/m	夹层厚度/m	夹层分布部位
正韵律	100	0	油层上部
复合正韵律	200	1	油层中部
复合反韵律	300	2	油层下部
反韵律	400	3	分散分布

收稿日期:2012-11-22。

作者简介:饶良玉,男,工程师,博士,从事油气田开发研究。联系电话:(010)83595295,E-mail:rao2005@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“普通重油油藏提高采收率技术研究”(2011ZX05032-001),中国石油集团专项“海外油气田开发技术研究与应用”(2008B-4401)。

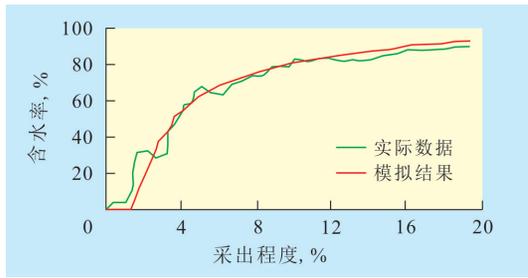


图1 基础模型模拟结果与实际数据对比

## 2 结果与分析

### 2.1 夹层半径

油藏的开发效果随着夹层半径的增加而改善,大面积夹层的控水效果明显。当无因次夹层半径为0.2(图2a)时,在低含水期,控水效果由好到坏

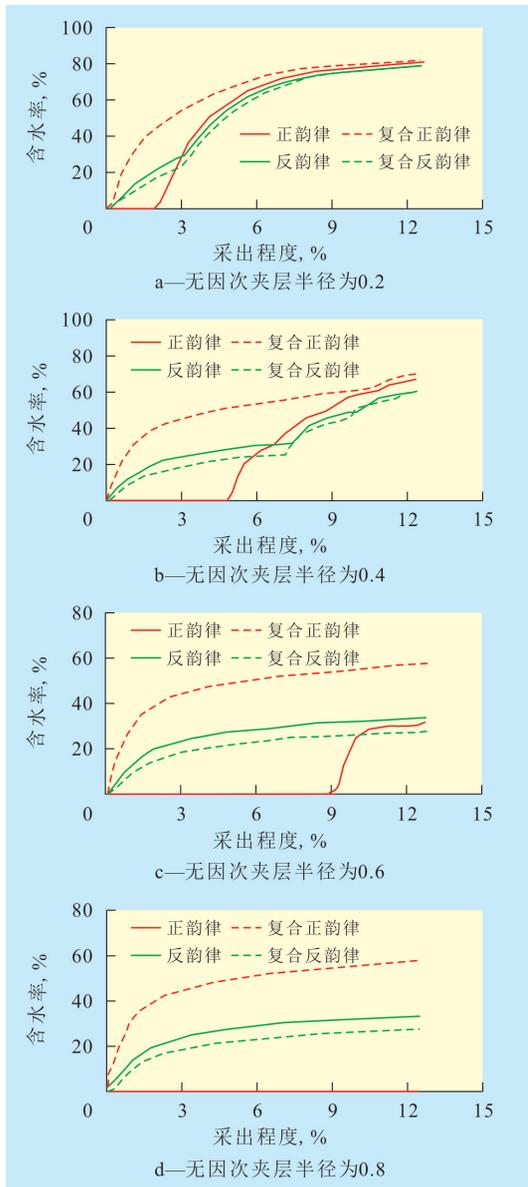


图2 夹层半径对不同韵律底水油藏开发效果的影响

依次为正韵律—复合反韵律—反韵律—复合正韵律;但在中高含水期,控水效果由好到坏依次为复合反韵律—反韵律—正韵律—复合正韵律。在低含水期内,正韵律油藏底水尚未绕过夹层,在采出程度达到2%之后含水突破,含水率迅速上升;在中高含水期,反韵律油藏的夹层位置位于高渗透层位,受夹层遮挡的影响,开发效果有所改善。无因次夹层半径为0.4,0.6和0.8也呈现类似的现象(图2b,图2c,图2d),且无一低含水采油期得以延长,但是当无因次夹层半径大于0.6后,低含水采油期开发效果的改善程度变小。

### 2.2 夹层厚度

夹层厚度对开发效果影响不大,但对不同韵律油藏影响程度不同。对比夹层厚度分别为1和3 m的开发效果(图3)可以看出,正韵律及复合正韵律油藏含水率上升速度均随着夹层厚度增加略有减缓,反韵律及复合反韵律油藏含水率略有增加,幅度均不大。低含水期控水效果由好到坏依次为正韵律—复合反韵律—反韵律—复合正韵律油藏;中高含水期反韵律和复合反韵律油藏控水效果好于正韵律和复合正韵律油藏。

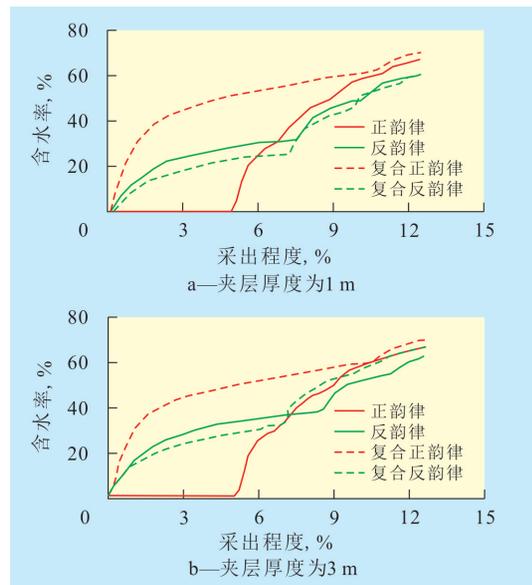


图3 夹层厚度对不同韵律底水油藏开发效果的影响

### 2.3 夹层分布部位

由夹层分布部位对底水油藏开发效果的影响(图4)可以看出,夹层位于油层上部时,开发效果由好到坏依次为正韵律—反韵律—复合韵律油藏;夹层位于油层中部时,低含水期时正韵律油藏具有一定的无水采油期,但底水突破后,含水率迅速上升,中高含水期时不同韵律油藏的采出程度与含水率关系曲线趋于一致;夹层位于油层下部时,正韵律和

复合正韵律油藏有一定的无水采油期,但是突破后含水率迅速上升,反韵律油藏在中高含水期夹层的影响逐渐显现,开发效果得以改善;当夹层分散分布时,中高含水期反韵律及复合反韵律油藏开发效果好于正韵律及复合正韵律油藏。因此,当夹层分布在距离油水界面相对较近(油层中下部)或者分散分布时,开发效果相对较好,剩余油主要富集于夹层下部及夹层之间,成为挖潜的重点。

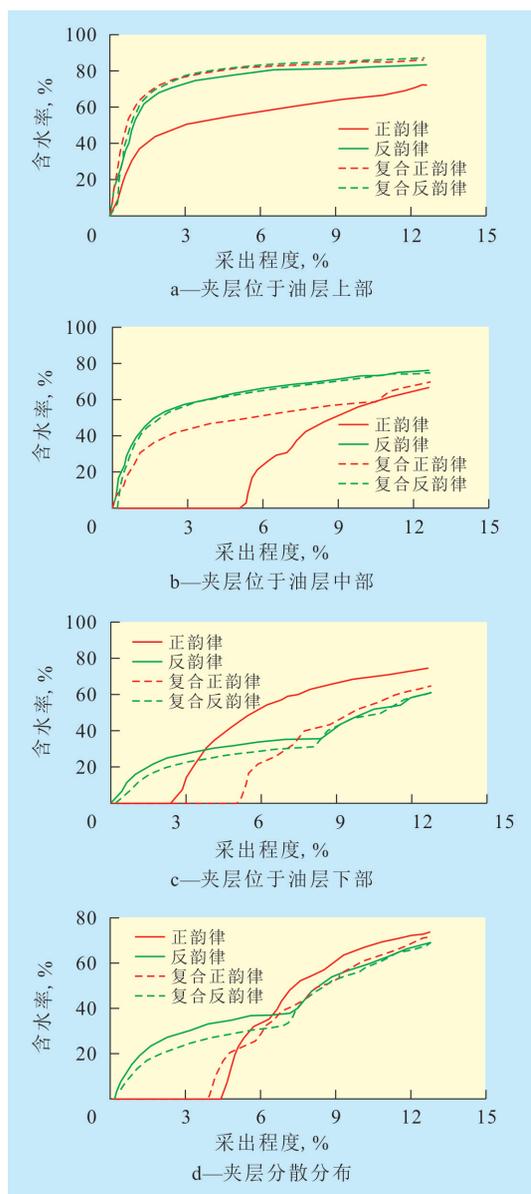


图4 夹层分布部位对底水油藏开发效果的影响

### 3 开发技术对策

对不同韵律油藏,均应充分利用夹层对底水的阻挡作用来控制含水率上升速度。为了进一步弄清不同韵律油藏开发效果的主控因素,在夹层研究

的基础上,分别研究了不同采油速度、垂向与水平渗透率之比( $K_v/K_h$ )、打开程度和射孔层段等对开发效果的影响。

采油速度存在优化区间,优化采油速度为2%左右。当采油速度较大时,5 a内采出程度越高,含水率也越高;当采油速度达到4%时,反韵律油藏的采出程度比正韵律油藏的高5%;由于重力和垂向渗流的综合影响,控水效果由好到坏依次为反韵律—复合反韵律—复合正韵律—正韵律。

随着 $K_v/K_h$ 值的增加,垂向渗流的影响逐渐占主导地位,水淹严重,采出程度降低,对反韵律油藏开发效果影响最大。当 $K_v/K_h$ 值相对较低(小于等于0.1)时,重力作用的影响占主导地位,反韵律油藏控水效果最好;当 $K_v/K_h$ 值相对较高(大于等于0.3)时,垂向渗流作用的影响占主导地位,水淹严重,采出程度不同程度地降低,对反韵律油藏影响最大。

打开程度为1/3~2/3时,反韵律油藏控水效果好。当打开程度低于2/3时,控水效果由好到坏依次为反韵律—复合反韵律—复合正韵律—正韵律;当打开程度高于2/3时,水淹严重,采出程度降低。

射孔层段宜控制在距油水界面1/3以上,若位于油藏中下部,正韵律油藏采出程度明显下降。射孔层段位于油藏中下部时,由于渗透率的影响,水淹严重,不同韵律油藏的采出程度均不同程度地降低,其中正韵律油藏采出程度下降明显。

通过以上研究,得出不同韵律油藏主要开发技术对策包括:①合理控制采油速度,减缓底水锥进速度。机理模型研究表明合理采油速度为2%左右。②充分利用夹层优化射孔,达到控水稳油的效果。尤其对正韵律及复合正韵律油藏,射孔层段及打开程度对其影响较大,射孔层段宜控制在距离油水界面1/3以上,打开程度在1/3~1/2能保持一定的无水采油期和延缓底水锥进。③对反韵律及复合反韵律油藏, $K_v/K_h$ 值的影响较大,因此应根据 $K_v/K_h$ 值大小,控制采油速度,降低垂向渗流作用的影响,减缓底水锥进速度。④由于夹层对渗流的阻挡作用均能改善油藏开发效果,因此应充分利用隔夹层部署水平井以提高油田产量,适时实施人工夹层以控制含水率上升速度。

### 4 应用效果

苏丹H油田属于复合正韵律底水油藏,开发早期采用稀井高产及大泵提液,开发中后期加强开发

调整实现稳油控水,取得较好的开发效果。期间充分利用夹层对渗流的控制作用,优化射孔并部署加密水平井,采收率从26.7%提高到30.6%,增加了3.9%。H油田2004年之后综合递减率逐年降低,近3 a来综合递减率维持在25%左右。含水上升率也得到有效控制,油田稳油控水效果明显,含水上升率逐年下降,2007—2010年含水上升率控制在2%以内。

根据夹层精细油藏描述研究,H油田B油层实施20口水平井,投产初期产油量为128.9 t/d,含水率为22.3%,周围老井产油量为65.3 t/d,含水率为83.3%。2011年10月平均产油量为37.3 t/d,含水率为68.7%。

## 5 结论

对不同韵律油藏,由于夹层对底水的阻挡作用,具有一定规模夹层的储层开发效果均得以改善。夹层厚度对开发效果影响不大,低含水期正韵律油藏和中高含水期反韵律油藏控水效果相对较好。夹层距离油水界面近或存在多夹层情况下开发效果好,多夹层下部及夹层间原油基本被驱替出来,剩余油主要分布在底部夹层下部。

机理模型研究表明,正韵律及复合正韵律底水油藏主控因素在于夹层分布、射孔层位及打开程度,反韵律及复合反韵律底水油藏主控因素在于夹层分布及垂向与水平渗透率之比。针对不同韵律底水油藏的开发策略主要为:充分利用隔夹层优化射孔,结合垂向与水平渗透率之比控制采油速度和

适时实施人工夹层等减缓底水锥进速度,以改善开发效果。

H油田开发实践表明,充分利用隔夹层优化射孔并部署加密水平井并取得较好的开发效果,能为类似油田提供参考。

### 参考文献:

- [1] 房士然. 夹层对优势通道形成与演化的影响[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(1): 90-92.
- [2] 徐丕东, 戴俊生, 林博, 等. 结合模糊综合评判与随机建模识别夹层空间分布——以孤岛油田中一区馆6段为例[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 61-63.
- [3] 王延章, 林承焰, 温长云, 等. 夹层分布模式及其对剩余油的控制作用[J]. 西南石油学院学报, 2006, 28(5): 6-11.
- [4] 杜庆军, 陈月明, 侯健, 等. 胜坨油田厚油层内夹层分布对剩余油的控制作用[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2006, 28(4): 111-114.
- [5] 薛永超, 程林松, 张继龙. 夹层对底水油藏开发及剩余油分布影响研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(6): 101-106.
- [6] 陈程, 孙义梅. 厚油层内部夹层分布模式及对开发效果的影响[J]. 大庆石油地质与开发, 2003, 22(2): 24-28.
- [7] 刘睿, 姜汉桥, 刘同敬, 等. 夹层对厚油层采收率影响研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(4): 103-106.
- [8] 张宗檩. 正韵律厚油层层内夹层对水平井挖潜效果的影响分析[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(3): 46-47.
- [9] 束青林. 正韵律厚油层剩余油分布模式及水平井挖潜——以孤岛油田中一区Ng<sup>5</sup>层为例[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(6): 34-38.
- [10] 崔文富. 反韵律厚油层夹层分类及纵向剩余油分布模式——以胜坨油田沙二段8~15砂层组为例[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(1): 52-55.

编辑 经雅丽

欢迎订阅 踊跃投稿