

厚油层层内夹层分布对水驱效果影响的物理实验研究

屈亚光,丁祖鹏,潘彩霞,申健,姚泽

(中海油研究总院 海洋石油高效开发国家重点实验室,北京 100027)

摘要: 夹层是影响油藏开发动态特征和剩余油分布规律的重要因素。油田开发实践证明,由于沉积、成岩等地质作用不同,会形成不同的夹层,因其成因、特点和分布又有较大差异,因此它们对油田的水驱规律的影响亦不同。基于厚油层设计的层内夹层分布理想模型,首先研究了夹层对韵律性储层注水井层内射孔位置的影响,然后以反韵律储层为对象,分别研究了夹层分布位置及范围对注采井网水驱效果的影响。结果表明,当厚油层层内夹层发育且存在渗透率级差时,注水井射孔时应尽量射开层内高渗透区域;对于反韵律储层,当夹层处于采油井附近区域时,夹层对水驱影响程度最小,其次是夹层位于注采井间,而夹层位于注水井附近影响程度最大,其水驱效果最差,同时随着夹层范围的扩大,水驱效果逐渐变差。

关键词: 夹层 物理实验 水驱 韵律性 射孔

中图分类号: TE341

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)03-0105-03

兰丽凤等认为厚油层层内非均质性是制约厚油层开采效果的关键因素^[1],对层内非均质性的认识水平影响着开采方案的优化和实施效果^[2-3]。一般来说,夹层是指在地层中与油气层交替分布的不渗透层,夹层岩性致密,孔隙度一般小于6%,渗透率小于 $0.02 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其将厚油气层分成多个独立的流体流动单元^[4-7]。对于层内非均质性储层,夹层是厚油层内复杂水淹形式的主要控制因素^[8],也是油藏开发动态特征和剩余油分布规律的重要影响因素^[9-12]。油田开发实践证明,由于沉积、成岩等地质作用不同,会形成不同的夹层,因其成因、特点和分布有较大差异,因此对油田水驱效果的影响也存在不同^[12-15]。为此,笔者通过建立夹层分布的理想模型,采用室内物理实验方法,研究了夹层分布对韵律性油层注水井层内射孔位置的影响及层内夹层分布位置与范围对注采井网开发效果的影响。

1 夹层分布理想模型与实验模型

一般说来,按成因可以将夹层分为2类:一是沉积作用形成的夹层,包括泥质夹层和泥质胶结砾岩

夹层;二是沉积物在成岩过程中形成的夹层,即钙质胶结砂—砾岩夹层。由于沉积环境和成岩作用不同,油层层内夹层分布形态复杂,不便于开展理论研究。为此,基于实际油藏中一般夹层的分布特点,建立了一个注采单元的层间夹层分布理想模型。理想模型由上、下2个油层组成,夹层位于两者之间,三者平行分布,夹层不存在渗透性,上、下2个油层的渗透率可任意控制,因此可设计出韵律性储层,以模拟油藏的层内非均质性。模型中油层和夹层形状均为正方形,夹层的面积比油层小,因此上、下油层间若存在夹层,油层间垂向上是不渗透的,即垂向渗透率为0;若不存在,油层间是可渗透的。

依据理想模型,首先采用不同的天然露头岩石加工成边长为40 cm的正方体岩块,然后按照岩块的渗透率进行分类,为确保同一层岩块渗透率的均质性,将渗透率相近的岩块粘接组合在一起,制作成物理模型中的1个小层,最后根据物理实验需要,选择已粘接好的2个小层进行组合。对于存在夹层的区域,上、下2个小层间的岩块粘接时粘接面用环氧树脂胶完全封堵,以确保上、下层层间不渗透;对于不存在夹层的区域,上下2个小层间的岩块采用

收稿日期:2014-03-03。

作者简介:屈亚光,男,工程师,博士,从事油藏数值模拟、海上油气田开发动态及开发技术政策研究。联系电话:(010)84523507,E-mail:qyg52122@126.com。

基金项目:国家科技重大专项“海上油田丛式井网整体加密及综合调整技术”(2011ZX05024-002)。

网状胶线的方式进行粘接,保证垂向上层间是可渗透的。通过控制模型中粘接2层岩块的渗透率可以制作出正韵律、反韵律和均质模型,同时通过控制环氧树脂胶封堵区域可以控制夹层分布的位置与范围,夹层可分布在模型注水井周围、采油井周围和注采井间区域。

2 层内夹层分布对韵律性储层注水井射孔位置的影响

实验模型将五点注采井网的1/4作为模拟井网单元,夹层的边长为模拟井网单元边长的1/2,夹层分布在注水井周围区域。设计了正韵律、反韵律和均质3类物理实验模型,每一类模型中采油井射开2个小层,注水井考虑分别射开上、下小层的情况,因此总共需建立6个实验模型,正韵律和反韵律模型的2个小层间渗透率级差为3。所有实验模型的生产控制条件均为定注采压差,其值为0.1 MPa,实验时间为8 h。正韵律储层实验对比方案如图1所示,反韵律、均质2种韵律性模型与之类似。

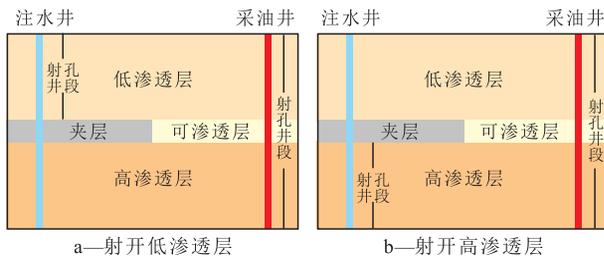


图1 正韵律储层注水井射孔位置实验对比方案

实验结果(表1)表明:对于正韵律储层,射开下层比射开上层的累积产油量高127.3 mL;对于反韵律储层,射开上层比射开下层的累积产油量高131.3 mL;而均质储层,射开上层比射开下层的累积产油量仅高2 mL。可见对于层内渗透率存在韵律性的储层,当注水井射孔位置不同时,累积产油量差别较大,即水驱开发效果差异较大;而对于均质储层,射孔位置不同时,累积产油量差别不大。

由于储层不同层位的渗透率不同,注水井周围

储层韵律性	上层		下层	
	累积产油量	累积注水量	累积产油量	累积注水量
正韵律	536.7	542.2	664.0	767.8
反韵律	667.2	790.1	535.9	541.6
均质	592.9	653.4	590.9	650.3

渗流阻力不同,在相同注入压力下,注水量则不同。分析表1可知:对于正韵律储层,射开高渗透层的累积注水量比射开低渗透层的高225.6 mL,注入效率相对较高;对于均质储层,射开不同层位时,油水井间平均渗流阻力差别不大,2种射孔位置间累积注水量差别较小,引起差别的原因主要是受重力作用影响,对于反韵律储层,射开高渗透层的累积注水量比射开低渗透层高248.5 mL。

综上所述,当层内夹层发育且存在渗透率级差时,特别是对于厚油层中存在夹层时,注水井射孔时应尽量射开层内高渗透区域,以减小射孔作业对油藏水驱开发效果的影响,从而提高油藏水驱开发效果。

3 夹层对注采井网开发效果的影响

3.1 夹层分布位置

一般情况下,层内夹层厚度较薄,但分布复杂多变,其主要受砂体形成时期的沉积环境所控制。实验模型选择反韵律储层模型,保证所有实验模型中模拟夹层的面积相同,夹层边长为模拟井网单元边长的1/2,采油井2层均射开,注水井只射开高渗透层,共设计了3个方案,方案I夹层分布在注水井周围,方案II夹层分布在注采井间,方案III夹层分布在采油井周围,各方案工作制度均为定注采压差,其值为0.1 MPa。

模拟结果表明:方案I、方案II和方案III的累积产油量分别为667.2,743.5和754.7 mL,累积产水量分别为806.7,851.4和843.8 mL,方案I的累积产油量最低,方案II和方案III的累积产油量均显著高于方案I的累积产油量,但差别较小,仅相差11.2 mL,且其累积注水量也具有相似的特征。同时从各方案的含水率变化(图2)可看出,方案I含水率上升速度大于方案II和方案III。主要原因是:当夹层

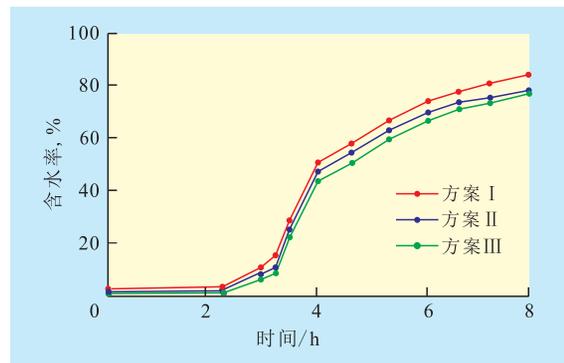


图2 不同方案含水率变化

分布在注水井周围时,因为夹层在垂向上是不渗透的,在高渗透层注水时,注入水不会在重力作用下渗流到低渗透层,注入水仅在注水井周围水平方向上流动,垂向上不会发生流动,波及不到夹层下部区域,而方案Ⅱ和方案Ⅲ在注入水附近区域不仅有水平方向上的流动,而且由于重力作用,在垂向上也会流到下层,夹层下部原油也会被驱替,相对方案Ⅰ而言,上层注入水推进速度慢,所以含水率上升速度低,层内油藏波及效率高。

在实验模型中,以注水井一侧为起点,在上、下2层均匀布置了3个测压点,编号依次为1,2和3。由不同方案各层的测压点数据(表2)可以看出,方案Ⅰ测压点1处下层的压力为0.153 MPa,而方案Ⅱ和方案Ⅲ在测压点1处下层的压力均为0.174 MPa,明显高于方案Ⅰ,说明方案Ⅰ中夹层下部区域能量补充不够充分,注入水未波及到,该区域为剩余油富集区。综合以上分析可得出,当夹层处于采油井附近区域时,夹层对水驱效果的影响程度最小,开发效果最好,其次是夹层位于注采井间,夹层位于注水井附近时的水驱开发效果最差。因此,在实际油藏中,在明确夹层分布的前提下,应对注采井位进行优化部署。

方案编号	MPa					
	测压点1		测压点2		测压点3	
	上层	下层	上层	下层	上层	下层
Ⅰ	0.177	0.153	0.159	0.152	0.133	0.134
Ⅱ	0.177	0.174	0.161	0.162	0.135	0.135
Ⅲ	0.177	0.174	0.162	0.162	0.135	0.138

3.2 夹层分布范围

通过以上分析可知,当夹层位于注水井附近时对水驱效果的影响程度最大,基于此进一步研究夹层分布范围对水驱开发效果的影响。选择反韵律储层模型,夹层位于注水井附近区域,注水井只射开高渗透层,采油井全部射开。设计了3个实验方案,方案Ⅳ是夹层边长为注采井网单元边长的1/4;方案Ⅴ夹层边长为注采井网单元边长的1/2;方案Ⅵ夹层边长为注采井网单元边长的3/4,各方案工作制度均为定注采压差生产,其值为0.1 MPa。

各实验方案结果(表3)表明,方案Ⅳ的累积产油量最高,为715.1 mL,含水率最低,为79.4%,方案Ⅳ的累积产油量比方案Ⅴ和方案Ⅵ累积产油量分别高77.9和199.5 mL,说明方案Ⅳ的水驱效果最好,方案Ⅴ次之,方案Ⅵ最差。这是因为:方案Ⅳ的夹层边长仅为模拟注采井网单元边长的1/4,一部分注

入水在重力作用下很快渗流到下层,使得上层水驱前缘推进速度减缓,采油井见水时间延长,含水率上升速度也会随之降低,同时下层油层波及体积较大,从而提高了整个油层的驱油效率;而方案Ⅴ和方案Ⅵ夹层分布范围较大,注入水流到下层的时间相对比较滞后,注入水在上层水平方向的流动速度要快于方案Ⅳ,所以方案Ⅴ和方案Ⅵ见水时间短,含水率上升速度快,同时方案Ⅴ和方案Ⅵ由于注入水渗流到下层时水驱前缘推进距离相对较大,导致下层注入水波及到的体积相对较小,整个油层的驱油效率降低。由此可知,夹层在此生产条件下对水驱效果影响较大,夹层范围越小,水驱效果越好,随着夹层范围的进一步扩大,水驱效果逐渐变差。

表3 不同方案生产指标

方案编号	累积产油量/mL	累积注水量/mL	含水率/%
Ⅳ	715.1	825.2	79.4
Ⅴ	637.2	806.7	83.1
Ⅵ	515.6	788.1	85.6

4 结论

基于设计的夹层分布理想模型,分别研究了夹层分布对韵律性储层注水井层内射孔位置的影响及层内夹层分布位置、范围对注采井网开发效果的影响。结果表明:当层内夹层发育且存在渗透率级差时,注水井射孔时应尽量射开层内高渗透区域;对于反韵律储层,当夹层位于采油井附近区域时,夹层对水驱影响程度最小,水驱效果最好,夹层位于注水井附近,水驱开发效果最差;反韵律储层中随着层内夹层范围扩大,水驱效果逐渐变差。

参考文献:

- [1] 兰丽凤,平晓琳,白振强,等.基于小井距检查井的夹层分布特征及对剩余油分布的控制作用——以萨尔图油田北二西区为例[J].油气地质与采收率,2013,20(4):83-87.
- [2] 饶良玉,吴向红,李香玲,等.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[J].油气地质与采收率,2013,20(1):96-99.
- [3] 刘超,马奎前,陈剑,等.旅大油田非均质性定量表征及开发调整[J].油气地质与采收率,2012,19(5):88-90,103.
- [4] 王增林,王敬,刘慧卿,等.非均质油藏开发规律研究[J].油气地质与采收率,2011,18(5):63-66.
- [5] 才巨宏.乐安油田草4块沙三段一沙二段储层沉积特征与非均质性研究[J].油气地质与采收率,2011,18(3):24-28.

(下转第110页)