

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.2018.0506

申春生, 胡治华, 李林, 等. 中高含水期河流相砂体剩余油定量预测新方法[J]. 地质科技情报, 2018, 37(5): 49-53.

中高含水期河流相砂体剩余油定量预测新方法

申春生, 胡治华, 李林, 康凯, 梁世豪

(中国海油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459)

摘要: 海上河流相油田中高含水期剩余油分布规律十分复杂, 如何准确预测剩余油分布规律是油田后期高效开发的基础和前提。基于渤海 PL 油田河流相砂体的储层特征和水淹特征, 通过数模机理研究落实了油田水淹厚度系数与注入孔隙体积倍数、渗透率级差之间的量化关系, 并以该量化关系为指导, 预测出井点水淹厚度系数和水淹厚度, 进而根据各井点水淹厚度进行了等值线图绘制, 利用水淹厚度图对小层平面、层内剩余油进行了定量预测。经过 10 口新钻调整井的验证, 剩余油厚度预测误差一般小于 30%, 具有较高的吻合率。

关键词: 中高含水期; 河流相砂体; 水淹厚度系数; 水淹厚度等值线图; 剩余油预测

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

文章编号: 1000-7849(2018)05-0049-05

随着海上河流相油田常规注水开发的深入, 大多数河流相油田进入了中高含水开发阶段, 出现了产量递减快、含水率上升快的现象, 影响了油田开发水平的进一步提高。对中高含水期河流相油田剩余油分布的研究是油田后期调整挖潜的重要前提^[1-3], 所以加强中高含水期河流相油田剩余油的研究势在必行。由于海上河流相油田长期的注水开发, 已经使其岩性、物性、电性、含油性、水性等发生了改变, 加上海上钻井资料相对较少, 在高含水的条件下要准确描述剩余油分布非常困难。目前, 国内外剩余油研究主要通过岩心分析、示踪剂测试、数值模拟、测井、试井、电阻率等多种方法对剩余油的空间分布进行研究, 且以定性描述为主^[4-6]。笔者以 PL 油田河流相砂体为例, 拟利用水淹厚度预测技术定量描述剩余油分布的方法。该油田河流相砂体具有明显的底部水淹特征, 并且水淹厚度系数与注入孔隙体积倍数、渗透率级差之间具有正、负相关关系。基于该油田河流相砂体的储层特征, 通过数模机理研究落实三者间的量化关系, 并以该量化关系为指导, 预测出井点水淹厚度系数和水淹厚度, 进而根据各井点水淹厚度进行等值线图绘制, 利用该等值线图对层内剩余油进行定量预测。

1 油田河流相砂体沉积特征

PL 油田是位于渤海中部海域的一个河流相油

田。目前已进入中高含水阶段, 平面、层间、层内矛盾突出, 剩余油预测及稳产难度增大。主力含油层系为馆陶组, 油藏埋深 910~1 400 m, 以辫状河沉积为主, 含砂率约 30%, 属于海上大型复杂河流相水驱开发油田^[7-9]。研究目的层 L54 辫状河砂体呈现“泛连通”大面积席状分布, 钻遇率>90%, 宽度可达几千米, 宽厚比大于 100, 平面井点渗透率变异系数为 0.6, 渗透率分布范围 $200 \times 10^{-3} \sim 2 800 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值 $1 150 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。该辫状河砂体主要发育心滩和辫状河道 2 种微相, 砂体的韵律性以正韵律和均质韵律为主。

(1) 心滩 平面上呈菱形或不规则椭圆形。沉积作用以垂向加积和顺流加积为主, 通常发育板状、楔状交错层理, 剖面上呈中间厚、两侧薄的“顶凸底平”形态。垂向上粒序以均质韵律为主, 测井相以箱形为主, 厚度一般为 4~9 m, 平均渗透率 $1 500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 层内渗透率级差一般小于 3。

(2) 辫状河道 以砂质充填河道为主, 发育槽状交错层理、平行层理、块状层理, 底部不同程度地发育冲刷充填构造, 该类砂体层内纵向上粒序表现为底部粗、向上变细的正韵律特征, 测井相以钟型为主, 厚度 3~7 m, 平均渗透率 $1 150 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 渗透率级差一般大于 3。

2 河流相砂体水淹规律

PL 油田有较丰富的侧钻井资料, 为分析河流相

收稿日期: 2018-03-10

编辑: 禹华珍

基金项目: 国家重大科研专项“渤海油田加密调整及提高采收率油藏工程技术示范”(2016ZX05058001)

作者简介: 申春生(1975—), 男, 高级工程师, 主要从事油气开发地质研究工作。E-mail: hudy.hehe@163.com

砂体水淹变化规律和影响因素奠定了资料基础。

(1) 河流相砂体在沉积韵律和重力的共同作用下,砂体底部(或下部)优先水淹,然后中部次高渗透率段相继见水。PL 油田资料统计结果表明,正韵律层的中下部物性好,上部物性差,砂体底部或下部优先水淹,均质韵律层也具有同样特征(图 1)。

(2) 随着注入水的注入孔隙体积倍数的增大,砂体层内水淹厚度系数具有增大的趋势。水淹厚度系数即见水油层厚度与油层厚度的比值。随着注入水的注入孔隙体积倍数增加,油层水淹厚度系数具有增大的趋势。以 A16 注水井组为例,注水井 A16 井注入孔隙体积倍数为 0.05 PV 时,受效生产井 A23 井在原井眼附近第一次侧钻后 L102 小层水淹厚度

1.5 m,水淹厚度系数 18%;随着 A16 井累积注水量的增加,注入孔隙体积倍数达到 0.4 PV 时,A23 井第 2 次侧钻井眼 A23ST2 井 L102 小层水淹厚度增加到 4.6 m,水淹厚度系数增加到 46%(图 1)。

(3) 砂体水淹厚度系数与渗透率级差具有负相关关系。通常渗透率级差越大,则水淹厚度系数越小(表 1)。水淹厚度系数增大趋势与渗透率级差密切相关。砂体渗透率级差越大,水淹厚度系数越小;反之渗透率级差越小,水淹厚度系数越大。均质韵律砂体的垂向渗透率级差较小,通常先中下部水淹,然后随着注入孔隙体积倍数增加,水淹厚度系数增大较为迅速。

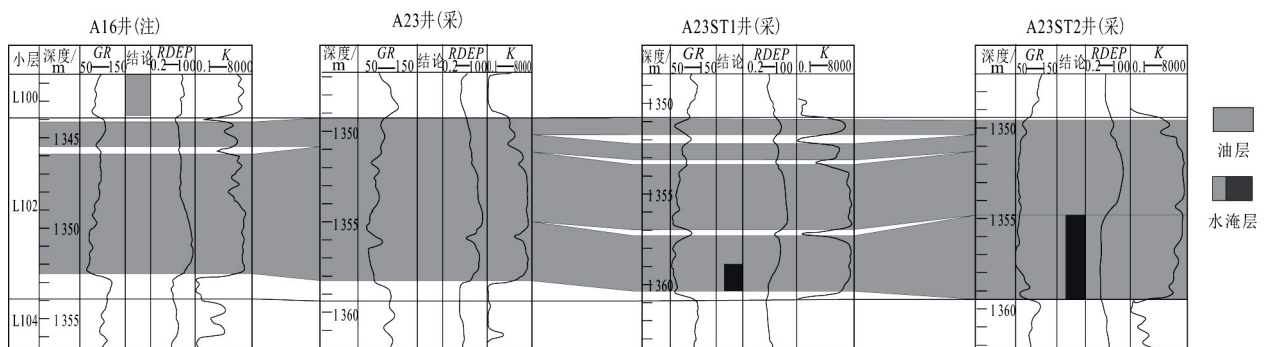


图 1 河流相砂体底部水淹及水淹厚度增长示意图 (GR 单位 API; RDEP 单位 $\Omega \cdot m$; K 单位 $10^{-3} \mu m^2$)

Fig. 1 Schematic diagram of bottom water flooding and growth of water flooded thickness in fluvial facies sandstone

表 1 砂体水淹厚度系数实际值与计算值对比统计

Table 1 Comparison of the actual value and the calculated value of water flooded thickness coefficient

序号	井名	小层	渗透率级差	水淹厚度系数/%		吻合程度
				实际值	图版法计算值	
1	A18ST2	L62	2	16	4	一般
2	A18ST1	L102	2	58	58	吻合较好
3	A12ST2	L102	2	74	68	吻合较好
4	A18ST2	L54	4	50	48	吻合较好
5	A12ST2	L62	4	67	53	一般
6	A18ST2	L102	9	55	55	吻合较好
7	A18ST2	L70	10	45	44	吻合较好

3 砂体水淹厚度系数计算

根据河流相砂体水淹规律可知,油层的水淹厚度系数与注入孔隙体积倍数、油层的渗透率级差密切相关。如果能够建立起三者之间的量化关系,对于油层的渗透率级差可根据周边井点插值预测获得,注入孔隙体积倍数可通过油藏动态法计算获得,所以依据三者的量化关系就可以对河流相储层剩余

油厚度进行预测。

利用数模机理模型研究了砂体水淹厚度系数与注入孔隙体积倍数、油层的渗透率级差之间的关系图版。

3.1 数模机理模型油层的设计

笔者以 PL 油田主力生产区块内砂体厚度、物性、渗透率级差具有代表性,同时生产历史较长、认识较为清楚的典型井组 C12 井组 L50 小层河流相砂体为原型设计机理模型。模型层厚 10 m,平均渗透率 $1\ 000 \times 10^{-3} \mu m^2$,反九点注水井组(生产井 8 口,注水井 1 口),注采井距 300 m,面积 0.36 km²。采用均匀网格系统,平面网格步长为 20 m,垂向步长为 0.5 m,模型网格数 $30 \times 30 \times 20 = 18\ 000$ 个。考虑到储层渗透率在平面上差异不大,和前人设计的模型相比,本模型着重考虑了渗透率级差的影响。本油田储层层内渗透率级差一般在 10 倍以内,为了减少工作量,按渗透率级差为 1,3,5,10 倍设计了 4 种不同级差的模型,以分析渗透率级差对水淹厚度系数的影响。

按照油田实际的生产能力和注水能力对生产井、注水井进行配产配注。按照行业规范^[10-11],以网格含水率大于 20% 视为油层水淹,并计入水淹厚度。

3.2 模拟结果

由模拟结果可以看出,在渗透率级差为常数的情况下,注入孔隙体积倍数与水淹厚度系数呈指数递增关系;在注入孔隙体积倍数为常数的情况下,水淹厚度系数随渗透率级差增大而减小(图2)。

3.3 模拟结果检验

以表1内的7个实际数据进行检验,有5个吻合程度较好,2个吻合程度一般,说明该图版可以用于油田实际预测。吻合程度一般的数据点与该方向上生产井测试资料缺乏有一定关系。

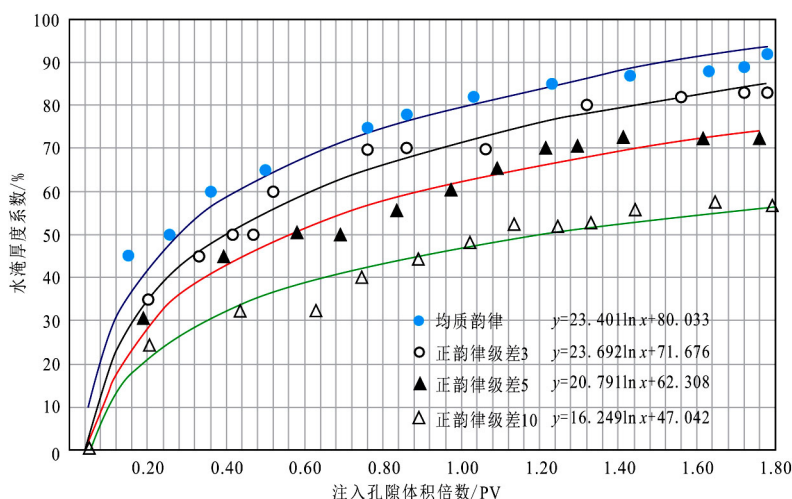


图2 注入孔隙体积倍数与水淹厚度系数关系

Fig. 2 Curves of the relationship between injection pore volume multiple and water flooded thickness coefficient

4 预测河流相砂体剩余油厚度的方法及验证

4.1 水淹厚度等值线图绘制方法

前已述及,已知注入孔隙体积倍数、砂体渗透率级差和水淹厚度系数三者之间的量化关系,就可以对某口油井在某个时间点的剩余油厚度进行预测。其中,渗透率级差可根据沉积微相约束井点渗透率级差插值得得;注入孔隙体积倍数可通过油藏动态法计算,具体做法与含水率等值线图的做法一致^[12-15]。

(1) 沉积相控制预测井点渗透率级差

储层孔隙度、渗透率等岩石物性的分布与沉积相密切相关,未知点的物性数值只与同层同相的井点已知物性数值有关,因此可以利用沉积相控制岩石物性分布预测法预测井点渗透率级差。

(2) 求取注入孔隙体积倍数

先以小层为研究对象,根据历次吸水剖面各小层吸水比例测试结果将注水井各阶段注水量劈分到相应小层后求和,得到各小层累积吸水量。再以小层内部注采井组为研究对象,按照地层系数比例将小层的累积吸水量向油井进行平面劈分,得到各油井各小层的累积吸水量。然后根据小层含油面积图、有效厚度等值线图及孔隙度等值线图计算各小层井网控制范围内的孔隙体积;接着以小层内部注采井组为研究对象,根据井组内各油井井控面积、有

效厚度及孔隙度计算各油井各小层的井控孔隙体积。最后,计算出各小层累积吸水量及各油井各小层累积吸水量,进而得到相应的注入孔隙体积倍数。

(3) 水淹厚度系数计算

得到各油井注入孔隙体积倍数后,再结合油井渗透率级差,在注入孔隙体积倍数与水淹厚度系数关系图版(图2)上直接计算或插值得到各井组油井小层(砂体)的水淹厚度系数,其乘以油层厚度就得到各油井井点水淹厚度。

(4) 勾绘水淹厚度等值线图

结合小层油层有效厚度图,应用计算的注水井、油井小层水淹厚度值分井组依次勾绘等值线。同一等值线向油井的弧度遵循椭圆规则,两椭圆弧线相交处的圆滑处理由水井逐步向油井画线,最终得到砂体水淹厚度等值线图(图3)。如果所获得的认识与新钻加密调整井实钻水淹厚度差异较大,则主要分析3个方面:①检查沉积相是否有突变,以校正储层渗透率级差;②查询注水井近期是否进行过分层调配工作,吸水量是否有明显变化,以进一步修正注入孔隙体积倍数参数;③检查井组内油井是否有异常动态表现,如出砂、长时间关井、躺井,需要根据油井异常表现时间修正分配给该井控区的注入孔隙体积倍数。

4.2 成果检验

为了检验本方法的可靠性,以PL油田1区2012年的动静态资料为基础编制了主力小层水淹

厚度等值线图(图 3),并利用 2013 年新钻 10 口调整井资料进行了验证,该 10 口井剩余油厚度预测误差一般小于 30%,具有较高的吻合率,说明该方法

具有半定量一定量预测层内剩余油分布的功能,尤其对于具有底部(或下部)水淹特征的河流相储层效果较好。

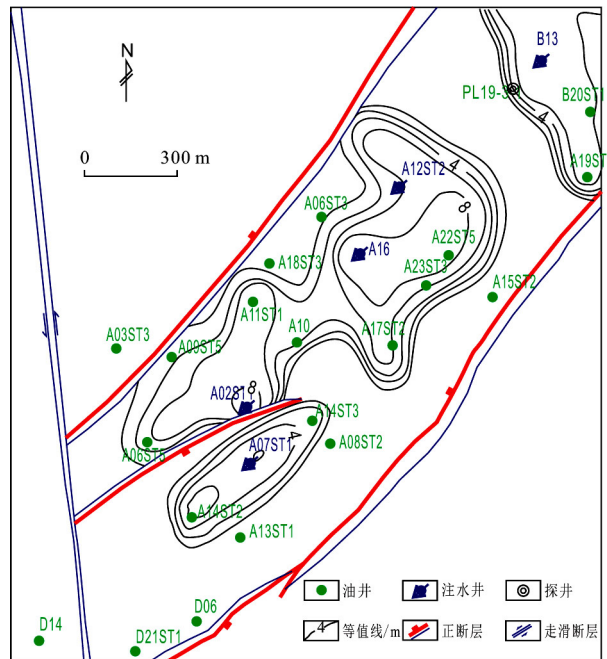


图 3 L54 小层砂体水淹厚度等值线图

Fig.3 Water flooded thickness contour map of L54 small layer

5 结 论

(1) PL 油田河流相砂体在沉积韵律和重力的共同作用下,易出现砂体下部(或底部)优先水淹,然后次高渗透率段相继见水的现象。随着注入孔隙体积倍数的增加,水淹厚度具有增大的趋势。

(2) 水淹厚度系数增大与注入孔隙体积倍数呈正相关,与储层渗透率级差呈负相关。

(3) 由于河流相储层水淹特征较为单一,可以通过数模机理模型建立本地区水淹厚度系数与注入孔隙体积倍数、渗透率级差间的量化关系,并据此定量预测出井点水淹厚度,经实际钻井资料验证,该方法具有较好的预测效果。

参考文献:

- [1] 高博禹,彭仕宓,王建波. 剩余油形成与分布的研究现状及发展趋势[J]. 特种油气藏, 2004, 11(4): 7-11.
- [2] 尹太举,张昌民,赵红静. 双河油田剩余油分布地质预测[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(4): 42-45.
- [3] 郑爱玲,王新海. 复杂断块油砂体剩余油分布半定量评价技术[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(6): 127-130.
- [4] 赖枫鹏,李治平. 高含水期剩余油分布预测方法研究[J]. 新疆石油天然气, 2007, 3(3): 37-41.
- [5] 郑浩,王惠芝,王世民,等. 一种研究高含水期剩余油分布规律

的油藏工程综合分析方法[J]. 中国海上油气, 2010, 22(1): 33-36.

- [6] 黄小荣,李来秋,任秀芬,等. 水淹图的绘制和在油藏动态分析中的应用[J]. 内蒙古石油化工, 2002, 27(7): 203-204.
- [7] 胡治华,申春生,刘宗宾,等. 渤海 L 油田东营组低渗透层特征与成岩作用分析[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(4): 51-55.
- [8] 袁亦楠,薛叔浩. 油气储层评价技术[M]. 北京:石油工业出版社, 1997: 158-169.
- [9] 王威,李臻,田敏,等. 岩性—地层油气藏勘探方法技术研究现状及进展[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(2): 121-125.
- [10] 周守为. 中国近海典型油田开发实践[M]. 北京:石油工业出版社, 2009: 246-267.
- [11] 郭永强,刘洛夫,等. 辽河西部凹陷沙三段岩性油气藏主控因素研究[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(2): 19-23.
- [12] 郭兵,刘树根,刘顺,等. 龙门山中段前山带构造特征及其形成演化[J]. 岩性油气藏, 2008, 20(4): 59-64.
- [13] 徐樟有,宋丽,吴欣松,等. 川中地区上三叠统须家河组典型气藏解剖与天然气成藏主控因素分析[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(2): 7-11.
- [14] 魏虎,孙卫,屈乐,等. 靖边气田北部上古生界储层微观孔隙结构及其对生产动态影响[J]. 地质科技情报, 2011, 30(2): 85-90.
- [15] 王香增,张丽霞,于波,等. 鄂尔多斯盆地延长油气区山西组山 2 段储层砂岩成岩作用[J]. 地质科技情报, 2013, 32(1): 114-118.

A New Method of Quantitative Prediction of Remaining Oil in Fluvial Facies Sandstone at Medium-High Water Cut Stage

Shen Chunsheng, Hu Zhihua, Li Ling, Kang Kai, Liang Shihao

(Tianjing Company of CNOOC Ltd, Tianjing 300459, China)

Abstract: The remaining oil distribution of offshore fluvial oil field during high water cut stage is rather complicated, and accurate prediction of remaining oil distribution is thus fundamental for high efficient exploitation of oilfield in later period. Based on the reservoir and water flooded characteristics of PL oilfield comprised of fluvial sandbodies, the quantitative relationship between flooded thickness coefficient (FTC) and injection pore volume multiple and permeability ratio is determined by the simulation research. The flooded thickness coefficient and flooded thickness of single well can then be predicted by using this quantitative relationship. Furthermore, contour lines can be gained according to the prediction results of flooded thickness for wells, which can assist in prediction of remaining oil distribution in layers both in horizontal and vertical. Based on the data from 10 new adjustment wells, the deviation of remaining oil thickness prediction is generally less than 30%, which means high coincidence.

Key words: medium-high water cut stage; fluvial facies sandstone; water flooded thickness coefficient; water flooded thickness contour map; remaining oil prediction