

海上特稠油油田复杂油水界面 模型定量表征

叶小明

(中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院,天津 300459)

摘要:针对海上特稠油油田复杂油水界面在地质建模及数值模拟过程中的表征,提出一种非平衡输入建立饱和度场的等效方法。该方法通过油水界面三维分布模拟、油水分区属性场构建及含水饱和度模拟等构建准确表征复杂油水分布特征的含水饱和度场,利用该含水饱和度场替代油水界面,实现地质模型中储量拟合及油藏数值模拟模型中复杂油水界面的定义。在渤海 LD 油田,利用该方法解决了地质建模及数值模拟过程中复杂油水界面表征难题,为油田开发方案研究奠定了模型基础,同时也可为其他类似油田研究提供借鉴。

关键词:油水界面;海上油田;特稠油;地质建模;油藏数值模拟;渤海

中图分类号:P736;TE122

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2018.12006

随着渤海油田开发程度的不断深入,大部分主力油田相继进入到中—高含水开发阶段,剩余油分布预测及挖潜难度大,稠油油藏成为重点研究对象^[1-3]。近年来,渤海油田先后勘探发现了多个特稠油油田,油层厚度和储量规模都较大^[4],但由于该类油藏地层原油黏度大、流体界面差异大,油水关系特别复杂,给油田开发带来了巨大的挑战。

针对流体界面差异的成因以及预测方法,较多学者进行过有益的探索和研究^[4-11],但针对在三维地质模型和油藏数值模拟模型中如何对其进行定量表征,相关研究较少。地质建模及油藏数值模拟作为油田开发研究过程中两项重要的工作^[12-15],其研究质量的好坏对油田井位部署、开发指标预测、方案优选等具有重要的影响。而稠油

油田复杂的油水界面特征导致地质建模和数模工作中面临较大难点,亟需进行攻关。

笔者以海上特稠油油田 LD 油田为例,提出一种非平衡输入建立饱和度场的等效方法,来解决复杂油水界面在地质建模及数值模拟过程中的表征难题,为其他类似油田研究提供方法依据。

1 油田概况

LD 油田位于渤海辽东湾海域,位于辽西凹陷南洼东陡坡带、辽西 1 号断层的下降盘,是依附于辽西 1 号断层、受辽西 1 号断层和近东西向调节断层所夹持的断块构造,为复杂断块油田(图 1)。钻井揭示该油田地层自上而下为第四系平原组、新近系明化镇组、馆陶组以及古近系东营组。油田主要含油层系为浅层明化镇组和馆陶组,原油主要是在新构造运动的影响下,东营组油藏被破坏,原油沿控圈断层运移而来,原油在东营组和浅层成藏时期,遭受了初次降解和多次稠化作用,形成了较为复杂的油藏模式^[4]。明化镇组和馆陶

收稿日期:2018-07-24

基金项目:国家科技重大专项子课题“渤海油田加密调整及提高采收率油藏工程技术示范”(2016ZX05058-001)

作者简介:叶小明(1987—),男,硕士,工程师,主要从事油气田开发地质研究工作。E-mail:yexm@cnoc.com.cn

组储层类型为河流相沉积,明化镇组油藏盖层为泛滥平原泥质沉积,馆陶组油藏盖层为砂砾岩及砂岩互层沉积^[4]。明化镇组地面原油密度(20℃)1.004 g/cm³,地面原油黏度(50℃)33 595~39 099 mPa·s,馆陶组地面原油密度(20℃)1.004~1.011 g/cm³,地面原油黏度(50℃)37 196~74 462 mPa·s,为一典型的特稠油油田。

从油藏模式(图2)上来看,明化镇组为边水—底水块状油藏,馆陶组油层为边水—顶水—底水块状油藏。与常规块状油藏不同,该块状油藏有以下几个特点:①油水界面起伏不平;②顶底水同时存在,在储层空间物性分布特征控制下,油田呈现出了油水倒置的现象^[4]。该油田目前尚未投入开发,还处在开发方案设计阶段,需要通过地质建模及油藏数值模拟为开发方案中井位部署、开发指标预测等提供定量依据。

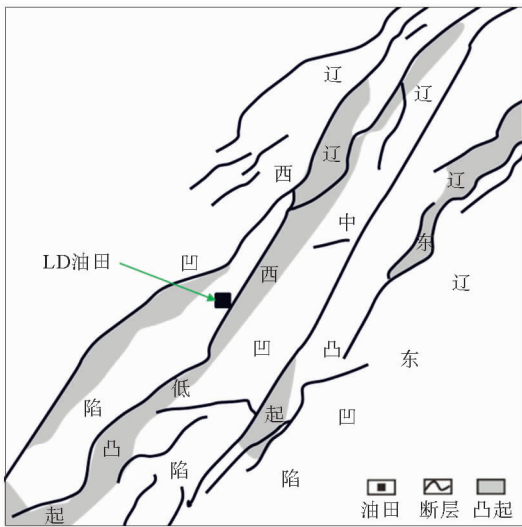


图1 油田区域位置

Fig. 1 Location map of LD Oilfield

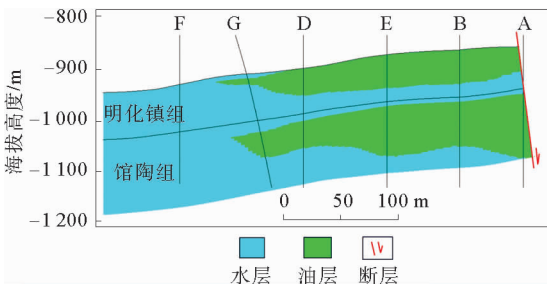


图2 油藏模式

Fig. 2 Reservoir model of LD Oilfield

2 复杂油水界面三维表征难点

在常规地质建模和数值模拟过程中,对油水界面的设置往往都是给一个统一的海拔高度来进行定义,这样非常简便。但LD油田由于油水界面起伏不平,且顶底水同时存在,导致地质模型中储量拟合、油藏数值模拟初始化过程中利用常规方法无法实现。其主要有以下难点:①地质建模过程中,在属性模型完成后,为了检验模型可靠程度,往往需要进行地质储量的拟合,但当前各主流建模软件并不支持顶底水条件下储量的直接计算;②油藏数模软件中同一油藏油水界面的设置往往只能给一个定值,不能识别海拔不一致的油水界面。

3 研究思路及方法

针对以上两点难点,提出一种非平衡输入建立饱和度场实现不规则油水界面的模型定量表征方法。其主要思路为:①以井点解释的油水界面为硬数据,结合油层厚度图作为趋势控制,协同模拟得到油水界面三维分布(包含顶、底水多套界面);②然后利用模拟生成的顶底油水界面,通过界面与地质模型网格进行交接关系计算,得到能够代表油水分布的属性场;③最后结合岩相模拟结果及各油层测井解释含水饱和度,模拟得到最终的含水饱和度模型。

利用含水饱和度模型能很好地在模型中区分出了油水分布,不需要利用油水界面即可方便地进行储量拟合。在油藏数值模拟过程中,利用含水饱和度模型代替常规的油水界面数据,采用非平衡输入法即可实现不规则油水界面的定量描述。

4 技术实现流程

4.1 油水界面三维分布模拟

与常规油田不同,LD油田明化镇组和馆陶组各井油水界面不一致,垂向界面高程差均为20 m左右,从空间上来看,并不是简单的倾斜油水

界面,而是成波状起伏形态。从油藏模式(图 2)中可见,明化镇组为边水—底水块状油藏,其中在 G 井上部还有一套 8 m 左右厚度的水层,因此,采用建立顶底两套油水界面的方式来对油水三维分布进行表征,顶底油水界面中间所夹区域即为油层发育范围。而馆陶组为边水—顶水—底水块状油藏,同样采取此种方法来进行表征。

油水界面三维空间分布模拟目前尚无人开展相关研究,为了使模拟的油水界面结果更为准确

可靠,同时也为了更好地开展储量拟合,在模拟过程中以各井井点处油层与水层或者油水同层界限为硬数据,将其当作井点油水界面确定性数据,针对井间油水界面则依据储量评价阶段依据地质研究认识编制的油层厚度图作为约束条件,利用克里金插值的方法模拟得到油水界面三维分布。如图 3 所示,LD 油田明化镇组和馆陶组 2 套油层顶底油水界面三维分布,2 套油层顶底油水界面中间所夹区域即为油层发育范围。

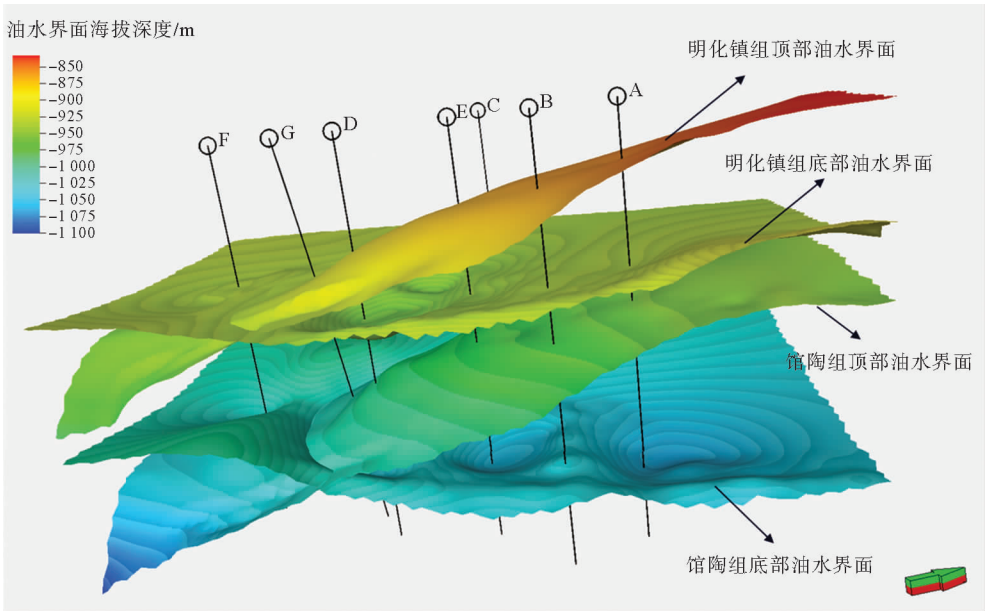


图 3 油水界面三维分布

Fig. 3 3D distribution of oil/water interfaces

4.2 油水分区属性场构建

油水分区属性场是为了在三维空间中区分油水分布的区域而定义的一种离散变量属性,其数值大小用整数来表示,如油层定义为 1,水层定义为 2,无量纲。使用上一步得到的明化镇组和馆陶组的顶底油水界面,通过顶底界面与地质模型网格进行交接关系计算,得到能够代表油水分区的属性场,其中对顶底界面所夹区域和以外区域分别赋以不同数值来区分油水层。

如图 4 所示,即为按此方法建立的 LD 油田油水分区属性场沿 I 方向的模型切片,其中上部为明化镇组,下部为馆陶组。从图中可以看出,该属性场较好的表征了油水界面起伏不平、顶底水

同时存在的油水三维空间分布特征。

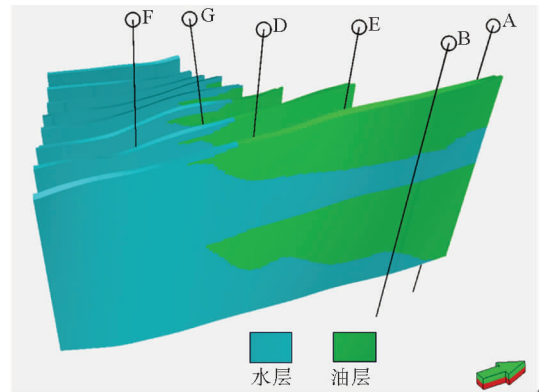


图 4 油水分区属性场

Fig. 4 Regional property field for oil and water distribution

4.3 含水饱和度模型生成

含水饱和度模型(含水饱和度场)是一种在三维空间中定量表征含水饱和度分布的连续变量属性,其数值大小同含水饱和度一样,介于0和1之间,无量纲。LD油田明化镇组和馆陶组含油面积内共有6口探井,平均井距为700 m左右,各井均有测井解释的含水饱和度曲线数据。基于较为丰富的井数据及测井资料,含水饱和度模型采用随机模拟的方法来建立。模拟过程中利用相控模

拟的方法,首先对井点不同岩相含水饱和度分布进行数据分析,然后利用孔隙度模型作为协同模拟约束条件,采用序贯高斯方法建立了全区的含水饱和度模型(图5)。

为了准确表征复杂油水分布特征,在模拟完成后,利用之前建立的油水分区属性场进行过滤计算,将油水分区属性场中定义为水层的网格在含水饱和度模型中将含水饱和度定义为1,将油水分区属性场中定义为油层的网格保持之前随机模拟得到的饱和度值,得到最终的含水饱和度模型(图6)。

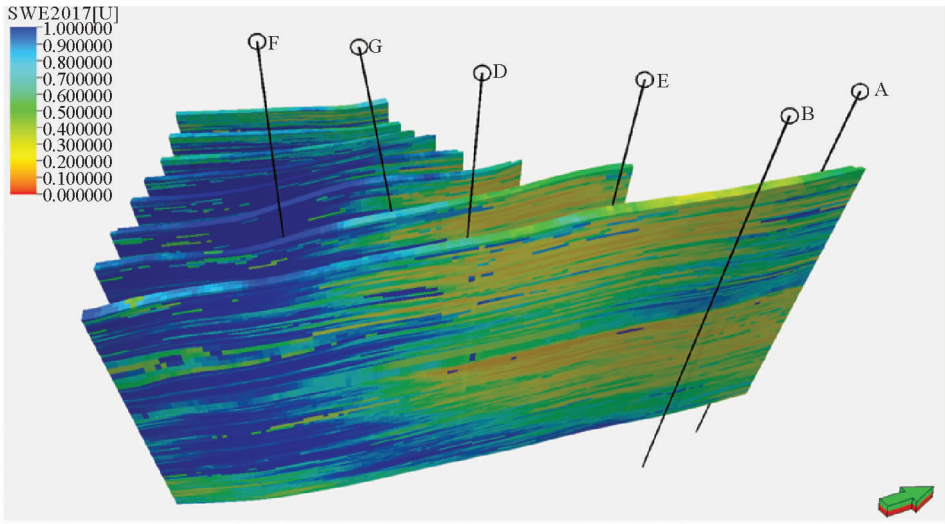


图5 初始含水饱和度模型

Fig. 5 Initial water saturation model

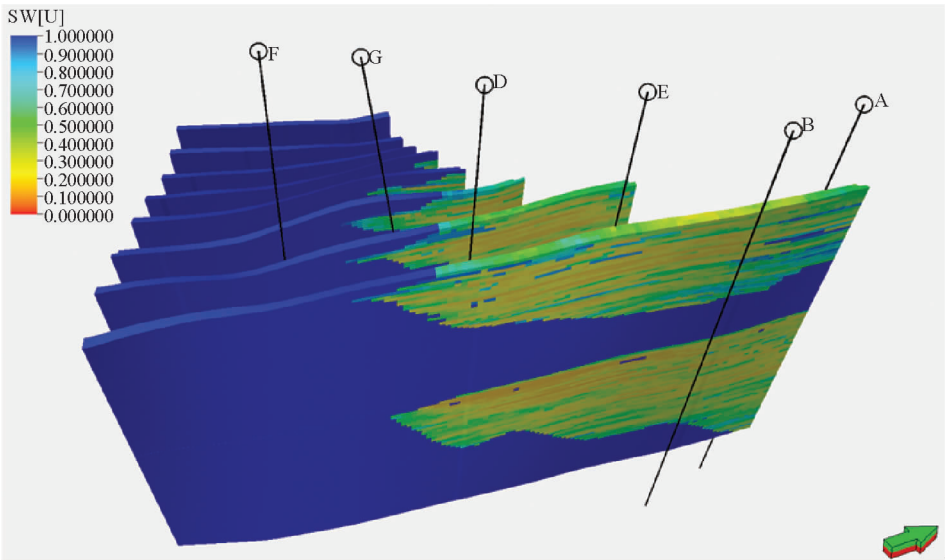


图6 最终含水饱和度模型

Fig. 6 The final water saturation model

5 模型应用

5.1 地质模型储量拟合

储量规模的多少是油田开发的物质基础,储量拟合作为地质模型建立完成后对模型质量的一种检验方法,在油田开发方案设计阶段尤为重要。利用文章提出的方法,通过含水饱和度模型的建立,合理的在模型中区分出了油水分布,解决了油水界面起伏不平及顶底水同时存在导致利用常规建模方法无法进行储量拟合的难题。

在LD油田,利用该方法分别对明化镇组和馆陶组进行了储量拟合。在储量拟合之前,需要依次建立孔隙度、渗透率及净毛比等物性参数模型,然后通过对油水界面及含水饱和度(或者含油饱和度)等参数进行定义来进行储量的计算及拟合。本次研究中油水界面采用前面研究得到的明化镇组和馆陶组底部油水界面三维分布构造图,饱和度采用前面依据油水分区属性场及测井解释数据建立的含水饱和度模型,通过储量拟合,模型储量与储量评价阶段容积法计算结果之差在5%以内,检验了模型的可靠性,为利用油藏数值模拟方法进行开发方案研究打下了较好的模型基础。

5.2 油藏数值模拟

在油藏数值模拟过程中,目前业界流行的Eclipse、CMG等油藏数模软件中对于油水界面的定义只能给一个定值,而不支持以曲面的形式来进行定义。由于油水界面起伏不平及顶底水同时存在,LD油田明化镇组和馆陶组油藏也不适合采用分区的形式来定义油水界面。本次研究中,提出利用含水饱和度模型代替常规的油水界面数据,采用非平衡输入法实现了不规则油水界面的定量描述,提高了利用模型进行井位部署、开发指标预测、方案优选等工作的准确性。

6 结论

(1)本文提出一种非平衡输入建立饱和度场实现不规则油水界面的模型定量表征方法,解决

了LD油田地质建模及数值模拟过程中复杂油水界面表征难题,为油田开发方案研究奠定了模型基础。

(2)稠油油田在渤海占有较大的比重,且较多油田都存在油水界面呈倾斜状或波状等复杂特征,本方法可为该类油田研究提供借鉴。

(3)油水界面井间三维分布模拟过程中,还有待开展详细的波状油水界面成因机理研究,从而提高模拟结果的准确性。

参考文献:

- [1] 郭太现,杨庆红,黄凯,等.海上河流相油田高效开发技术[J].石油勘探与开发,2013,40(6):708-714.
- [2] 刘超,赵春明,廖新武,等.海上油田大井距条件下曲流层内部构型精细解剖及应用分析[J].中国海上油气,2014,26(1):58-64.
- [3] 李浩,裴玲玲,张彩旗,等.渤海湾盆地A稠油油田M层油水界面主控因素[J].新疆石油地质,2017(4):455-459.
- [4] 徐长贵,王冰洁,王飞龙,等.辽东湾拗陷新近系特稠油成藏模式与成藏过程——以旅大5-2北油田为例[J].石油学报,2016,37(5):599-609.
- [5] 许宏龙,刘建,龚刘凭,等.双河油田438块构造油藏油水界面差异分布的主导因素[J].海洋地质前沿,2015,31(7):42-46.
- [6] 李传亮.油水界面倾斜原因分析[J].新疆石油地质,2006,27(4):498-499.
- [7] 林景晔,童英,王新江.大庆长垣砂岩储层构造油藏油水界面控制因素研究[J].中国石油勘探,2007,12(3):13-16.
- [8] 时佃海.油水界面倾角与储集层物性变化关系分析[J].新疆石油地质,2006,27(3):322-323.
- [9] 严科,赵红兵.断背斜油藏油水界面的差异分布及成因探讨[J].西南石油大学学报:自然科学版,2013,35(1):28-34.
- [10] 郭永华,周心怀,李建平,等.渤海海域新近系稠油油藏原油特征及形成机制[J].石油与天然气地质,2010,31(3):375-385.
- [11] 尚希涛,邢庆河.利用地层压力测试资料识别自由水面的方法[J].断块油气田,2012,19(5):674-677.
- [12] 霍春亮,叶小明,高振南,等.储层内部小尺度构型单元界面等效表征方法[J].中国海上油气,2016,28(1):54-59.
- [13] 叶小明,霍春亮,王鹏飞,等.井震静动四位一体储层建模方法[J].油气藏评价与开发,2017,7(4):1-5.
- [14] 赵永军,舒晓,胡勇,等.一种复杂曲流带储层三维构型建模新方法[J].中国石油大学学报:自然科学版,2015,39(1):1-7.
- [15] 叶小明,王鹏飞,霍春亮,等.海上复杂碎屑岩储层油气藏地质建模关键技术[J].中国海上油气,2018,30(3):110-115.

QUANTITATIVE CHARACTERIZATION FOR COMPLEX OIL AND WATER INTERFACE MODELING IN OFFSHORE SUPER HEAVY OILFIELDS

YE Xiaoming

(Bohai Oil Research Institute, CNOOC China Limited, Tianjin Branch, Tianjin 300459, China)

Abstract: A method to better identify the complicated oil/water interface in geological modeling and reservoir numerical simulation is proposed in this paper for extremely heavy oil. Via the simulation of 3d distribution of oil/water interface, the construction of oil/water partition property field and the simulation of water saturation, a final water saturation model is constructed, which can accurately define the complicated oil and water distribution pattern. The definition of complex oil/water interface in reserve fitting and reservoir numerical simulation may be realized by using the final water saturation model instead of oil/water interface. In the LD oil field, the complex problem of oil/water interface presentation was solved by using the method in geological modeling and numerical simulation for oil-field development planning. It can also provide a reference for other similar oilfields.

Key words: oil-water interfaces; offshore oilfield; super heavy oil; geological modeling; reservoir numerical simulation; Bohai Sea

关于作者著作权及稿酬的声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

《海洋地质前沿》编辑部