

• 地质研究 •

提高复杂断块油藏建模精度的方法与对策

窦松江^① 江艳平^① 石德佩^②

(①中国石油大港油田公司勘探开发研究院;②中油国际(尼日尔)有限责任公司)

窦松江,江艳平,石德佩. 提高复杂断块油藏建模精度的方法与对策. 2018,29(3):91-95

摘 要 复杂断块油藏较常规油藏建模的工作量及难度要大,由于缺乏对建模难点对策的系统剖析与引导,导致地质模型精度较多难以达到开发需求,严重影响了对油藏开发调整的决策。针对复杂断块油藏的地质特点和建模难点,从油藏建模的边界确定、速度模型转换、断层模型、层面模型、相和属性模型算法及约束方法等方面对建模的技术难点进行了剖析,对模拟方法选择、变差函数设置、砂体连通关系有效控制及干层或特低渗层的处理等难题提出了相应的解决对策,并根据不同开发阶段提出了合理的网格精度划分要求,系统提出并总结了各成果模型的验证方法,全面较好地解决了建模过程中的一系列难题,从而有效提高模型精度,为从事油藏地质建模的技术人员提供较好的指导。

关键词 复杂断块 地质建模 技术难点 方法对策 模型精度

中图分类号:TE 132.1 **文献标识码**:A **DOI**:10.3969/j.issn.1672-9803.2018.03.019

0 引 言

复杂断块油藏主要因断层发育导致构造破碎,不同规模与期次断层相互切割,形成了形状各异的大小断块。由于储集层发育程度、断层封闭性、圈闭类型及油气成藏等不同,形成了断块油藏间的强非均质性,造成复杂断块油藏地质较常规油气藏的建模更为复杂,其高精度建模难度更大。随着油藏开发的深入,对目标体研究更为精细,特别是开发中后期,复杂断块油藏的地质特点导致地质模型精度难以达到开发需求,严重影响了对油藏开发调整的决策。有效解决建模难点,是提高复杂断块地质模型精度的关键。只有从建模边界选择到构造建模、相建模、属性建模以及网格精度划分和验证各个环节深入、精细地进行探索,形成系统的复杂断块油藏高精度地质建模方法系列,才有助于为油藏开发提供符合地下实际的高精度地质模型^[1-3]。

1 复杂断块油藏高精度建模难点及对策

1.1 复杂断块油藏区块边界

复杂断块油藏的含油边界受断层、岩性及构造

形态等因素控制,对于开展油藏描述的众多区块,选择主力断块建模,将有一定的代表性。建模区块边界划定应符合以下要求。(1)内外流体之间的流动为最小且垂直于边界。(2)可选择密封断层、尖灭变差区的边部作为边界。(3)可选择流体界面、生产井或注入井井排作为边界,并作相应流入流出的处理,避免把边界设置在井排之间。(4)模拟区域边界的形状应接近地下实际边界形态,边界设置在井排上时,边界可以依井取线;对于形态复杂区块边界,允许予以合理的简化或处理^[4-5]。(5)为了减少受开放边界的影响,可以在模型中多取一些面积,采用输出分区指标的方式进行。

1.2 时深转换过程中的速度模型

复杂断块油藏通常由于断层两侧地层深度变化大、速度变化快,再加上井少、井距大的因素,导致地震解释软件中单纯井点插值计算的速度模型准确性低,地震解释输出的深度域数据与实际深度差别大,从而造成所建地质模型与实际误差较大。针对此难点,可采取如下解决方法。

(1)充分发挥建模软件的三维立体模拟多条件约束功能,在三维建模过程建立高精度速度模型。

基金项目:中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“大港油田大油气田勘探开发关键技术研究”(编号:2014E-06)

窦松江 教授级高工,1966年生,1989年取得中国地质大学(武汉)石油地质专业学士学位,2005年取得中国地质大学(北京)矿产普查与勘探博士学位,本刊编委,中国石油集团公司专家,现从事国内外开发地质研究。通信地址:300280 天津大港油田公司勘探开发研究院。电话:(022)63960363。E-mail:dsj196612@sina.com

首先将地震解释时间域层面,采用单井速度谱约束,建立各地震解释时间域层面等 T_0 图;将各时间域等 T_0 图联合起来进行三维立体模拟建立研究区速度模型,从而使所得速度模型既完全与单井时深数据吻合,又符合研究区时间域层面变化趋势,合理表征井少、井距大、速度变化快的区域的速度场特征变化,提高速度模型的精度。

(2)利用高精度速度模型,将地震解释时间域层面转化为深度域构造层面,从而保证各层面构造与地下地质实际较高的吻合精度。

1.3 断层多样且组合复杂的区块

由于复杂断块研究区断层多样且组合复杂,且控油的四级小断层极为发育,特别是“X”“Y”“λ”型断层组合,断层属性及空间位置难以确定,且构造模拟过程中易出现断层面扭曲变形现象,进而造成断层附近构造层面出现扭曲异常。为精细表征断层空间位置和组合关系、避免网格异常,在断层模拟中可遵循以下原则。

(1)采用“点、线、面、体”立体定位技术进行精细断层模拟。“点”为单井断点和分层数据,“线”为地震解释构造线和断层线,“面”为层位构造深度面和断层面,“体”为地震数据体。利用地震解释层面构造线和断层线约束插值,并采用井点分层数据校正,生成层位构造面;根据构造面确定断层走向、倾向、倾角、水平断距、垂向断距以及组合断层的接触关系;利用井断点数据准确定位断层的空间位置;在三维窗口中立体对比断层模型和深度域地震数据体,以检查校正断层模型,从而提高断层模型精度^[6-7]。

(2)在异常网格消除和断层选择模拟处理上,大断层因起主控作用通常均参与建模,小断层因控油情况不同分两种情况处理:一种是对于层间不控油小断层可简化处理,不在建模中体现;另一种是对于较为重要的控油小断层,在建模中不应舍弃,可适当延长断面的高度,使顶底保持在相近的水平位置,对于小断层与大断层夹角较小的情况,可通过调整小断层以适当增大夹角角度,利于避免构造面异常网格出现。

1.4 构造层面模型精度

不同开发阶段的研究程度和开发需求不同,构造层面模型需与地质研究级别一致。可采取如下层面模拟方法,提高层面模型精度。

(1)在断层模型建立的基础上,通常是以井震结合的井点分层数据作为硬数据,在地震解释成果的

约束下建立层面模型。在层面模拟中,先建立与地震解释层面一致的层面模型,再进行中间未解释层面模拟;未解释层面模拟过程中,选择邻近的地震解释层面为趋势进行模拟约束,可确保与地质认识的一致性。

(2)在油田开发中后期,层位研究级别由小层精细到单砂层,甚至夹层,厚度由几十米精细到几米,因此分层表现出层多、层薄的特点。对于厚度很小的薄层,如果应用井间构造趋势控制易出现厚度为0的层面,则采用虚拟井给定分层点或用小层等厚图进行协同约束,可有效解决井间插值厚度为0的问题。

1.5 相与属性模拟方法选择及其约束策略

1.5.1 随机模拟方法选择

对于复杂断块油藏建模来说,约束方法对模型精度具有决定性作用,而算法选择在一定程度上对模型精度的提高也起到了一定的控制作用。在相和属性建模中,一般采取随机模拟方法,以增加同等约束条件结果的可选择性,从而选择最符合地质认识的模拟结果。随机模拟包括基于像元和基于目标两种方法,各方法的地质适应性对比见表1。

(1)如果已知相(如河道相)的几何构型(几何形态和组合方式),则基于目标的示性点过程法为首选方法;对于具有排序分布的相组合(如三角洲平原、前缘和前三三角洲的组合)来说,截断高斯模拟方法最为适合;如果既不知几何构型,相组合又无排序现象,宜选用序贯指示模拟^[8-11]。

(2)对于储集层参数模拟来说,基于高斯分布的方法能有效地对无奇异值分布的储集层参数进行建模,但很难控制极值分布的连续性,而指示模拟方法能有效解决这类问题;若已知的井数据较多时,序贯高斯模拟为很好的选择;如果储集层参数分布符合统计自相似特征,则宜选用分形模拟方法。

1.5.2 变差函数设置

变差函数是地质统计学的基本工具,既能描述区域变量的空间相关性,也能描述其随机性,是进行随机模拟的基础。合理的变差函数设置,对提高模型精度也起到了一定的控制作用。

(1)相模拟变差函数设置

变差函数的分析主要是进行主方向和主变程、次变程、垂向变程的设定。

主方向确定:主方向是样点间相关性最好的方向,从地质角度分析,一般顺沉积物源方向储集层非

均质性弱,储集层内相关性最好,因此主方向一般为沉积物源方向,通常参考沉积相图或某种属性的等值线或者趋势面图(如砂岩等厚图、孔渗等值图等)分析河道发育的方位。

变程确定:变程表征了砂体在某个方向的平均

延伸尺度,从而实现预测砂体规模;主方向上具有最大的变程,为主变程。在实际建模过程,需参考地质原型模式来设定变差函数的变程,即根据河道发育的方位、延伸长度、河道宽度、纵向沉积单元厚度来确定主次和垂向变程。

表 1 随机模拟算法对比

名 称	分 类	特 点	适 应 性
基于目标	泊松点过程	参数少,速度快,但对模拟结果限制作用小	河道砂或河道砂相互镶嵌的地质模式
	示性点过程	简单快速,能准确反映井资料和地震资料,并很好的恢复相几何形态,但参数化困难	背景相的目标模拟和非渗透隔夹层的描述
基于像元	截断高斯模拟	易于实现,快速	相带呈排序分布的相模式
	序贯指示模拟	较好模拟各向异性地质现象	常见的相模式均适合
	序贯高斯模拟	能模拟各向异性复杂地质现象	连续变量地质现象,如孔渗
	模拟退火	能灵活忠实于所给任何参数,但计算量大,速度慢	综合多种信息来源的连续变量数据
	马尔可夫随机域	方法灵活,计算效率不高,效果不理想	镶嵌分布的离散变量相模式
	分形随机域	速度快,但需要研究对象局部和整体具有相似性	非均质性不强的连续变量模拟
基于像元	二点直方图	不能很好的恢复相几何形态	镶嵌状分布的离散变量的相模式和两相模拟
	多点统计	考虑多点的分布关系,能够描述多变量的复杂空间关系,但方法不成熟	平稳性强的地质模式

(2)属性模型变差函数设置

主方向与相变差函数设置一致,变程值一般小于相变程值。由于渗透率的影响因素较孔隙度多,其变化剧烈程度比孔隙度大,孔隙度的空间连续性较好,相同微相、相同层位的孔隙度变程要略大于渗透率的变程^[12-13]。

1.5.3 砂体连通关系的有效控制

对于储集层平面相变快、垂向非均质性强的复杂断块油藏建模来说,合理的井间砂体连通关系模拟是相建模的首要难点。针对不同沉积背景研究区的相建模,在沉积相平面图约束的基础上,可采取如下约束方法提高井间砂体连通控制程度。

(1)对于地震分辨率较高及井少、地质认识程度较低的区块,单纯依靠井数据随机模拟储集层分布,其储集层井间连通和分布精度明显较差。可通过提取地震属性体或沿层地震属性数据以及地震岩性反演数据体,在数据分析环节进行地震属性或反演数据与岩性或相的相关性分析,进而建立属性与岩性或相的相关函数,以此相关函数来约束储集层空间展布模拟,并合理确定砂体边界,进而提高井间预测精度。

(2)对于薄层砂岩和井间控制程度低的区块,井间易出现砂体连续性差、尖灭位置不准确的问题。可结合区域沉积规律与沉积微相成果确定虚拟井的砂岩厚度,提高薄层砂岩预测结果的准确性。

1.5.4 干层或特低渗层的处理

在测井解释结果中,存在某些孔渗值在有效储集层下限之上的干层,在采用孔渗截断值计算净毛比过程中,则取这些干层计算值为 1,即渗透性储集层。其参与储量计算,会造成储量结果与地质研究结果有误差,可采取如下处理方法:在开发早期阶段,这些干层可忽略为泥岩;在开发中后期阶段此类干层可传递能量,对注水完善起到一定的作用,可将其单独作为一个相类别进行相模拟。

对于特低渗储集层生产过程中见到油气产量,但其孔渗值的相关性较差,通常与动态生产特征存在不吻合,若采用孔渗相关性约束建立属性模型会造成模拟结果与实际相差较大。对此,建议采取利用现场生产资料数据为硬约束条件,建立储集层参数模型,以提高属性模型精度。

1.6 油藏原始饱和度模型建立需细化

由于数值模拟研究所用的是原始饱和度模型,

地质建模需建立原始饱和度模型,不同开发阶段的原始饱和度模型应该是一致的。由于复杂断块油藏断层的控藏作用,同层内,各独立断块几乎呈现不同的油水界面和含油分布特征,如何准确表征各断块独立油藏内部饱和度规律变化,是提高饱和度模型精度的关键。针对复杂断块油藏的流体分布特点,可采取如下方法提高饱和度模型精度。

1.6.1 原始饱和度值的确定

由于在开发过程中存在油水界面上升和水淹等情况,需利用研究区投入开发前或开发初期的井的饱和度数据作为原始饱和度数据;对于有密闭取心资料测定饱和度值的研究区,则需进行饱和度校正后再进行饱和度模拟。

1.6.2 高精度约束方法

可利用等值线图进行趋势约束,以此表征油藏内饱和度值由低部位向高部位的规律变化;对于没有饱和度等值线的研究区,可建立各独立油藏内饱和度值随油柱高度的变化函数,以此变化函数构建三维饱和度变化趋势体,用以约束建立饱和度模型,从而合理表征原始油藏内流体分布变化规律。

1.7 网格划分要满足三维地质建模的要求

复杂断块油藏的网格精度划分也是保证模型质量的重要环节。网格划分的精度较低,不能满足开发研究需要;网格划分的精度过细,则会影响工作效率。为保证地质模型的精度和实用性,在网格划分上一般需满足4个方面。

(1)平面网格的取向应使其可靠地反映静动态参数主要变化方向上的特征。因此,网格方向应与渗流方向平行或垂直,与井排的主要驱替方向平行或垂直,尽量与主断层线平行或垂直。

(2)垂向网格划分考虑储集层发育区与非储集层发育区。储集层发育区网格精度要高于非储集层发育区,以便更好体现层内非均质性。

(3)不同开发阶段网格精度不同。开发早期平面网格精度不超过 $100\text{ m}\times 100\text{ m}$,垂向网格不大于最薄砂层厚度;开发中后期平面网格精度要求不超过 $50\text{ m}\times 50\text{ m}$,垂向网格大小能分辨出夹层特征。

(4)网格粗化要体现油藏的非均质性与数模运算速度。平面网格粗化通常按油藏开发主体区、边缘及油区外3部分进行,油藏主体区网格要密;纵向按沉积储集层发育程度,采用不等厚进行粗化,非储集层发育区的网格粗化程度可以高一些^[14-15]。

2 模型验证

在建模过程中,需综合多方法对各阶段模型进行检验校正,以避免后续建模工作的重复、保证模型精度和质量。

2.1 构造模型验证

构造模型验证的核心是保证断层、地层发育在平面、剖面、立体上均与地质认识吻合,任意过井剖面与地震剖面、构造剖面、油藏剖面达到相互验证。可采用如下构造验证方法。

(1)层面对比法:通过提取模型中各层面构造图与相应的地质认识构造图进行对比分析,保证构造趋势、井点分层深度、断层位置、断距等均一致。

(2)剖面对比法:通过提取模型中任意井过井剖面与过相同井的地震解释剖面进行对比,保证地层接触关系、构造趋势、地层倾角、断层组合关系、断层位置等均一致^[16]。

(3)立体对比法:将地震数据体及解释数据加入建模工区,在三维窗口界面同时显示构造模型中层面、断层和地震数据体、解释层位、解释断层以及单井分层和断点数据,检查层面、断层的一致性,保证各项均吻合。

2.2 相和属性模型验证

(1)平剖对比检验:主要是提取模型中相和属性平面图,与地质研究平面图对比,确保平面分布规律一致;切模型任意过井剖面与过相同井的砂体剖面、油藏剖面图对比,检查在储集层夹层、储集层物性及流体分布规律方面的一致性,保证平面、剖面分布趋势与地质认识一致。

(2)直方图检验:主要是提取模型粗化前后、模拟前后属性直方图,通过检查其峰值、分布区间、均值等数据结构的一致性,确保数据结构相符。

2.3 抽稀井或钻新井检验

将某几口已钻井数据抽稀剔除,对比抽稀前后模型的一致性,保证模型具有高质量的预测精度。与钻新井数据对比分析也是检验地质建模成果的有效办法。

2.4 储量拟合检验

通过利用所建参数模型进行各油藏储量精细拟合,分析各油藏储量拟合结果与地质计算储量数据是否吻合,以此验证模型质量。一般要求其误差在 $\pm 10\%$ 以内,对于误差超过 $\pm 20\%$ 的模型,需与地质人员核实解决。

3 结 论

(1)根据复杂断块油藏特点和建模难点,较为系统地总结了在地质建模过程中边界确定、速度模型转换、断层模型、层面模型、相模拟和属性模拟 6 个方面的技术难点,在此基础上提出了相应的处理对策,从过程约束方法上提高地质模型的精确度。

(2)提出了地质建模网格划分要求和不同开发阶段的网格精度要求,提出并总结了建模过程中各类成果模型的验证方法,从过程控制上保证地质模型的精确度。

(3)在地质建模难点、技术对策、解决方法等协同研究的基础上,逐步形成了复杂断块油藏地质建模指导规范,为从事油藏地质建模的技术人员提供较好的借鉴。

参 考 文 献

- [1] 窦松江,赵郁文,徐芳,等. 埕海油田地质建模过程中的难点及对策[J]. 天然气地球科学,2010,21(4): 652-656.
- [2] 窦松江,孙超因,贾玉梅,等. 滩海油田开发初期的地质建模研究[J]. 海洋石油,2008,28(1):13-18.
- [3] 窦松江,赵平起. 断层封闭性在油田开发中的应用[J]. 断块油气田,2010,17(1):28-31.
- [4] 江艳平,芦凤明,李涛,等. 复杂断块油藏地质建模难点及对策[J]. 断块油气田,2013,20(5):585-588.
- [5] 王宏,王蓓蕾,王成俊. “两步法”相控随机建模在延长油田储层描述中的应用[J]. 岩性油气藏,2011,23(4):110-114,132.
- [6] 李晓峰,彭仕宓,王海江,等. 融合地震和测井信息的

- 三角洲沉积微相随机建模研究:以扶余油田二夹五区块为例[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2008,23(5):37-39,42.
- [7] 李君君,王志章,张枝焕,等. 精细三维地质模型构建[J]. 新疆石油地质,2011,32(5):484-486.
- [8] 陈建阳,于兴河,李胜利,等. 多地震属性同位协同储集层地质建模方法[J]. 新疆石油地质,2008,29(1): 106-108.
- [9] 窦松江,孙超因,张艳君,等. 大港油田储集层河道砂体内部构型研究[J]. 新疆石油地质,2009,30(3): 284-286.
- [10] 白振强,王清华,杜庆龙,等. 曲流河砂体三维构型地质建模及数值模拟研究[J]. 石油学报,2009,30(6): 898-902,907.
- [11] 窦松江,王庆魁,倪金钟,等. 大港油田官 142 断块巨厚砂岩储层流动单元[J]. 现代地质,2008,22(1):76-80,142.
- [12] 周游,程时清,张敏. 储层建模中变差函数参数的设置[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2010,25(5):25-27,32.
- [13] 任殿星,李凡华,李保柱. 多条件约束油藏地质建模技术[J]. 石油勘探与开发,2008,35(2):205-214.
- [14] 胡水清,韩大匡,夏吉庄. 高含水期地震约束储层建模技术[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):128-134.
- [15] 赵国良,沈平平,穆龙新,等. 薄层碳酸盐岩油藏水平井开发建模策略:以阿曼 DL 油田为例[J]. 石油勘探与开发,2009,36(1):91-96.
- [16] 胡望水,张宇焜,牛世忠,等. 相控储层地质建模研究[J]. 特种油气藏,2010,17(5):37-39.

(返修收稿日期 2018-06-12 编辑 姜 萍)

• 简讯 •

38 家石油公司竞标挪威大陆架勘探项目

据《油价网》2018 年 9 月 10 日报道,挪威石油部日前表示,在发起新一轮挪威大陆架成熟区块的勘探开发招标后,已收到 38 家石油公司的投标。挪威石油部指出,这 38 家石油公司涵盖大型国际石油巨头和中小型勘探公司。Equinor、康菲、道达尔、温特哈尔、埃尼等都在投标公司之列。“石油公司对挪威大陆架的油气勘探开发表现出如此高的兴趣,将对挪威油气行业的未来价值创造、就业和国家收入产生重要利好影响。”

今年 5 月,挪威宣布新一轮成熟区块许可证发放,招标区域主要位于挪威海和巴伦支海,涉及 103 个成熟石油区块。挪威石油管理局(NPD)表示,挪威大陆架仍有大量石油有待发现,估计未发现的资源相当于 40 个约翰·卡斯伯格油田。据 Equinor 公司统计数据,巴伦支海的约翰·卡斯伯格油田估计拥有 4.5 亿至 6.5 亿桶石油当量的可采资源。

(信息来源 中国能源报 2018-09-17)