

Application Practice of Integrated Modular Modeling Technology for Complex Block Thin Sand Layers

Xin Shen¹ Yingshun Mou¹ Ling Pan² Penghui Yang¹ Yun Chen¹

1. Geological Research Institute of the Third Oil Production Plant of Huabei Oilfield Branch, Hejian, Hebei, 062450, China

2. Tianjin Fanglian Technology Development Co., Ltd., Tianjin, 300280, China

Abstract

The Dongying Formation reservoir in Hejian Oilfield has multiple faults within its layers, small block areas, and multiple oil layers vertically. Coupled with the influence of fluvial sedimentary environment, the reservoir development is relatively thin, the lateral changes are fast, and the oil-water relationship is complex. After entering the high water cut development period, the distribution of remaining oil is unclear. Therefore, in response to the characteristics of vertically developed oil layers and thin reservoirs, the three-dimensional geological modeling technology of river facies single sand bodies is applied to finely understand the spatial development characteristics of reservoirs; To address the issue of multiple reservoir units and complex oil-water relationships, establish multiple equilibrium zones to study the distribution of remaining oil; Through the application of integrated modeling and numerical modeling technology, the distribution of remaining oil in the vertical and planar directions within a single sand body has been revealed, providing a clear direction for future development adjustments.

Keywords

complex block; Thin sand layer; Single sand body; Reservoir unit; Integration of modeling and numerical modeling; Balanced partitioning

复杂断块薄砂层建模数模一体化技术应用实践

沈鑫¹ 牟瑛顺¹ 潘玲² 杨鹏辉¹ 陈云¹

1. 华北油田分公司第三采油厂地质研究所, 中国·河北 河间 062450

2. 天津方联科技发展有限公司, 中国·天津 300280

摘要

河间油田东营组油藏, 层系内断层多, 断块面积小, 纵向上油层多, 加上河流相沉积环境的影响, 储层发育较薄, 横向变化快, 油水关系复杂, 进入高含水开发期后, 剩余油分布认识不清。因此, 针对纵向上油层发育且储层薄的特点, 应用河流相单砂体三维地质建模技术, 精细认识储层的空间发育特征; 针对油藏单元多且油水关系复杂的问题, 建立多平衡分区研究剩余油分布; 通过建模数模一体化技术的应用, 揭示了剩余油在单砂体内部垂向上和平面上的分布状况, 为下步的开发调整认清了潜力方向。

关键词

复杂断块; 薄砂层; 单砂体; 油藏单元; 建模数模一体化; 平衡分区

1 基本概况

河间油田东营组油藏处于河间断层和河间西断层夹持的断阶带内, 在断阶带的中间形成一个北东走向被断层复杂化的背斜构造, 背斜向四周倾没, 顶部较平缓, 翼部较陡。主要含油目的层为 Ed₃ 油组, 次要含油目的层为 Ed₂ 油组, 为复杂断块复式油藏, 油藏类型为构造层状油藏, 油藏埋深 2020 ~ 2520m, 主要储层属于河流相沉积, 为中孔、中渗储层。是受构造岩性控制的低饱和和压力、低油气比油藏。随

着油田开发程度的不断深入, 油田开发生产过程中潜在的问题也日趋显现, 油井高含水、油层水驱状况日趋复杂、剩余油分布认识难度大。需要在精细油藏单元分析的基础上, 动静结合, 建模、数模一体化开展剩余油分布规律研究, 定量分析剩余油潜力, 落实断块各油组、各小层的剩余油潜力, 依据剩余油认识成果, 提出油藏调整治理对策建议。

2 单砂体三维地质建模技术

河间东营组油藏通过前期研究分析, 纵向上有 76 个含油单砂层, 最薄的含油单砂层只有 0.6 米, 最厚的含油单砂层 9.6 米, 平均厚度为 3.1 米。通过对每口井统计, 有效厚度小于平均值的单砂层数占到 60%, 因此多数含油单砂层

【作者简介】沈鑫(1984-), 女, 硕士, 工程师, 从事油藏开发研究。

都属于薄砂层的储集层范围。在油藏地质研究时需要先建立油藏地质模型，如果用常规油藏地质建模方法，用单砂层分层来纵向细分地质模型的网格，对于较薄的单砂层其属性参数偏差会较大，这会影响后期油藏数值模拟运算。但如果按最薄储层 0.6 米来纵向细分地质模型网格，就会导致油藏模型的网格数巨大，后期油藏数值模拟无法运算，或是油藏数值模拟运算时无法收敛，难以完成研究工作。因此针对这一难点，采用了单砂体三维地质建模技术。

单砂体是指上下为稳定泥岩隔挡层所分隔的、相对独立控制油水运动的储层单元，是在小层划分基础上进一步细分出相对稳定分布的次一级小沉积旋回或韵律层。单砂体及其内部非均质性是高含水阶段控制剩余油分布的关键因素之一，准确表征“小尺度”地质体是老油田完善注采关系和高效挖潜剩余油的关键。单砂体三维地质建模技术就是基于细化的单砂体分层，以角点网格技术、地质统计学、三维可视化、多学科一体化研究等技术为基础，对单砂体级别的油藏构造、几何形态、储层构型、物性等三维表征和研究，在保证模型精度的前提下，精细刻画单砂体内部结构，建立精细的三维单砂体储集层构型模型，实现对油田的储集层精

细表征及剩余油挖潜研究。通过对以单砂体剩余油模式的研究，促进井网层系优化重组，进一步提高单砂体的水驱控制程度。

单砂体的分层方法，就是在常规单砂层分层体系下按纯砂岩顶和纯砂岩底再进一步细分，相当于在单砂层分层体系下再细分出砂岩层和泥岩层来，也就将单砂层的分层都细化为纯砂岩和纯泥岩的单砂体分层。对于河间东营组 76 个含油单砂层，在纵向上再细分为 76 个砂岩层和中间 75 个泥岩层，这样纵向上共计细分为 151 个层。在地质模型建立时以细化的 151 个层为基础进行精细网格化，这样可以确保属性数据离散时，纵向上能准确提取出纯砂岩对应层段的属性数据，也就是可以确保最薄砂岩孔隙度、渗透率等属性值的 100% 匹配。其纯砂岩、泥岩划分方法及单砂体三维地质建模流程见（图 -1）。另外，对于河间东营组油藏，考虑到河流相储层沉积的特点，在油藏地质建模过程中还考虑了沉积模式对河道砂体的形态控制，也就是通过系数调整对河道砂体边缘的尖灭厚度进行河盆状处理，建立符合地质沉积规律的砂体模型，这样可以避免常规建模方法在河道砂体边缘处过薄，影响后期河道边部油藏潜力认识。

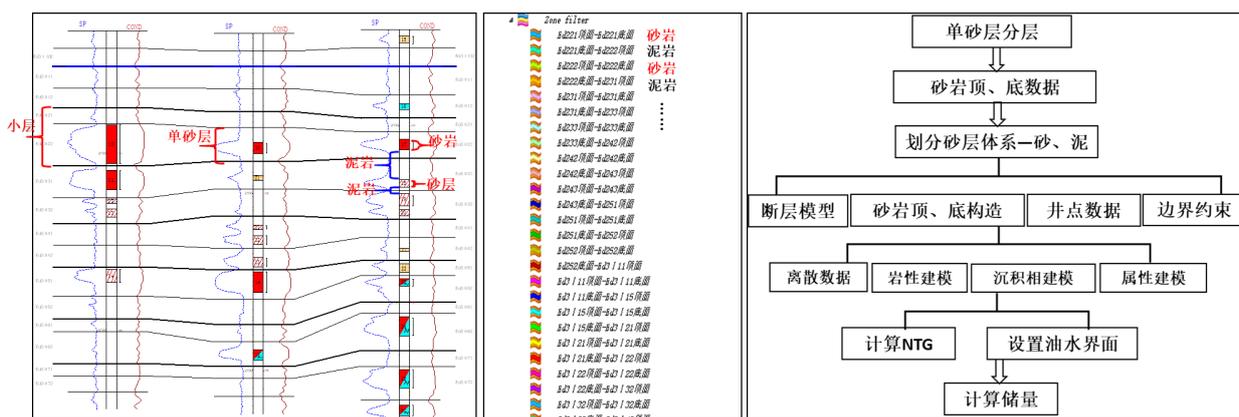


图 -1 砂岩、泥岩划分方法及单砂体三维地质建模流程

3 多平衡分区划分处理技术

油藏地质模型建立后就是开展油藏数值模拟研究工作，来量化认识油藏剩余油的分布，其基本原理是利用计算机求解油藏数学模型，模拟地下油藏中油水流动，来量化认识油藏的潜力。而在开展油藏数值模拟前有一个重要的概念就是油藏单元划分。任何一个开发油田都会存在一个或多个油藏单元，在同一个油藏单元内，具有统一的油水界面，油水界面之上富集油气，油水界面以下存在底水或边水，一个油藏单元，涵盖了构造单元、沉积单元、砂体单元划分的全部内涵，这也是油藏单元划分的核心理念。因此，一个油藏单元就是一个独立油水系统，在做油藏数值模拟时就要确定为一个平衡分区，并对这个平衡分区进行油藏中深、油藏压力的设定，才能完成油藏油水流动、剩余油分布的模拟工作。

河间东营纵向上有 76 个生产层，按油藏单元划分的原

则共分出 234 个油藏单元，其中最多的一个层平面上划分出 8 个油藏单元。正因为东营组纵向上油层多，平面上发育多个多油藏单元，使得油藏数值模拟时定义油藏平衡分区成为一大技术难点。用 Eclipse 油藏数值模拟软件，在定义平衡分区时很难调整，工作量巨大。因此采用了 Petrel2020 建模、数模一体化软件，该软件可实现地质到油气藏工程一体化研究，消除了专业间隔离研究，实现从油气藏精细描述到地质建模、动态分析到数值模拟、方案研究到指标预测全过程无缝连接，尤其工作流可逆修正，提高了研究精度与速度。为解决多个平衡分区建立的难点，采取的方法是在油藏地质建模时对每个单砂体划分独立区域，建立出单独的油水界面地质模型，然后将油水界面模型再转换成油藏数值模拟的平衡分区单元，再针对每个单元分别设定不同的油藏中深及油藏压力，这样就成功解决了一个层多平衡分区建立的难点。其油水界面设置、平衡分区转换及结果见（图 -2）。

如果没有油藏地质建模、数模一体化的软件，也可以实现非常复杂的多个平衡分区建立，就是相对麻烦，但原理和方法一样。就在在油藏地质建模时先对每个油藏单元划

分出独立区域，以模型导出对应数值模拟软件识别的网格格式。在油藏数值模拟软件中把导出的网格文件加上平衡分区的关键字，再导入到数值模拟软件中，再定义即可。

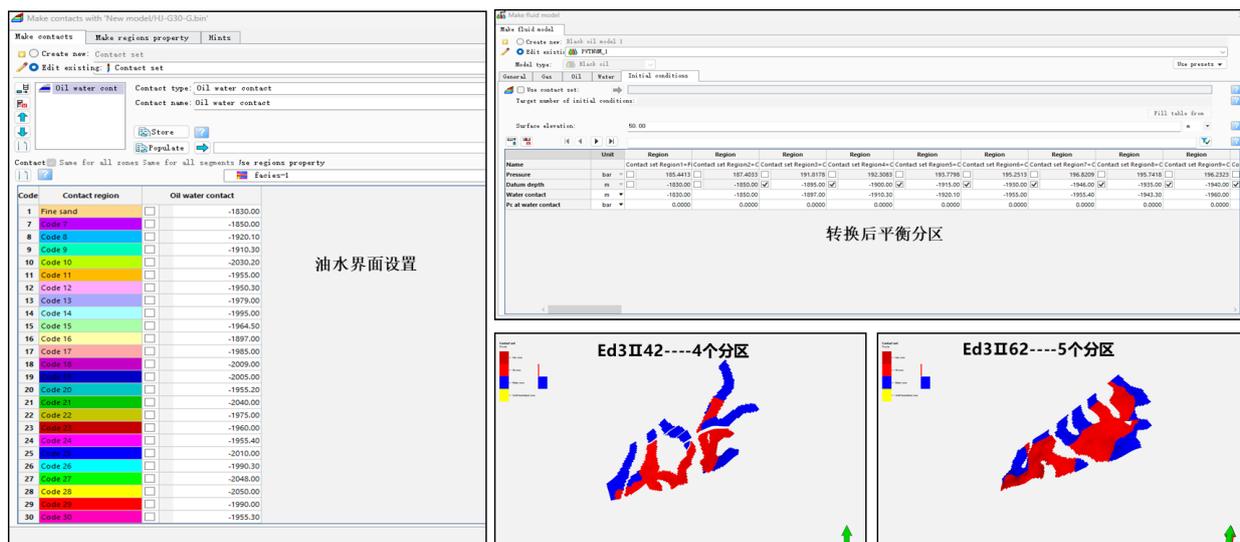


图-2 油水界面设置、平衡分区转换及结果

4 剩余油分布规律研究

河间东营开发井以多层合采合注为主，所以给注采分析带来了许多困难。因此在研究剩余油分布规律时，注重应用吸水剖面、产液剖面、示踪剂等监测资料，以及加密井测井资料，综合分析注采见效状况，结合油藏数值模拟结果，认识剩余油分布规律。通过综合分析，河间东营顺河道方向注采见效明显，剩余油主要分布在砂体边部及注采不完善区，大体可以分为三类。

第一类，单砂层采出程度大于 35%，主体区井网完善，水淹程度高，剩余油主要分布在未动区及砂体边部。这类单砂层特点是发育规模大、连续性好；井网完善，水驱控制及动用程度高；主体井区在纵向上为水驱主吸层，油藏水淹程度高，剩余油类型以平面矛盾弱水驱型为主，局部发育注采不完善型及局部遮挡滞留型剩余油。

第二类，单砂层采出程度较低在 35% ~ 10%，井网欠完善，水驱控制及动用程度有待进一步提高。砂体规模、连续性较第一类主力层略差。主力单砂体内部水驱状况较好，边部及部分零星小砂体井网完善难度大，不能建立注采关系，水驱动用程度有待提高；纵向上多数属于次吸水层，以层间矛盾弱水驱型为主、局部发育注采不完善型、无井控制型、平面矛盾弱水驱型剩余油。

第三类，小层砂体规模小、连续性差、注采对应关系差，采出程度不足 10%。这一类多数会存在砂体规模小、连续

性差的小砂体，难以建立有效注采对应，水驱动用状况差。纵向上整体属于弱吸水层或不吸水层，以无井控制或井网不完善型为主，局部发育层间矛盾弱水驱型。

5 结论与认识

(1) 应用单砂体三维地质建模技术，在纵向上通过进一步连续细分为纯砂岩和纯泥岩，可以有效解决较薄储层的精细地质研究工作，还能有效控制油藏地质模型的网格数，减少对后期对油藏数值模拟速度的影响。

(2) 应用地质建模、数模一体化软件，从地质到油气藏工程一体化研究，消除了专业间隔离研究，加上其 workflow 可逆修正，提高了研究精度与速度。尤其对复杂断块多油藏单元的开发油田，可以轻松解决平衡分区定义的难题。

(3) 通过开展剩余油的定量化研究，油藏的水淹方向以顺河道方向为主，剩余油主要分布在砂体边部及注采不完善区，对于储层相对较厚且局部发育夹层的区域，剩余油受夹层控制明显，在油层上部剩余油富集。

参考文献

[1] 王刚，河间复杂断块油藏高含水期综合治理对策研究[J]，中国石油大学(华东)，2011(10)。
 [2] 兰丽丽，油藏数值模拟在河流相整装油藏中的应用[J]，河南科技，2024(2)。
 [3] 闫存章、李阳，油藏地质建模与数值模拟技术文集，2007。
 [4] 蔺学军，油藏数值模拟入门指南，石油工业出版社，2015。