

沙二上高开发厚砂组断块油藏降含水

曹永新

中原油田分公司勘探开发研究院 河南 濮阳 457100

【摘要】：随着石油开发程度的提高，油田开发老区的含水越来越难以控制。油田采用常年注水补能，高密度井网的采油方式长时间开采，部分油田的采出含水率高达95%。若要实现高开发老油藏的高效开发，怎么降低含水率是必须考虑的问题。沙二上油藏为厚砂组断块油藏。该油藏砂岩发育厚度大，泥质夹层发育层度低，古河道交错发育，受断层影响整个油藏划分为3个小块。受长期注水开发影响，截至2024年6月，该油藏的综合含水为97.9%。降低含水成为该油藏治理的主要方向。降低含水从油藏再认识开始，进行非均质性分析，小层注水量与剩余油分析，井网适应性分析，数值模拟与历史拟合分析等，采用部署井网、调剖等方式开发高剩余油区域，实现降低含水的目的。

【关键词】：高含水；油藏再认识；小层对比；数值模拟；渗流

DOI:10.12417/2705-0998.26.01.054

1 概况介绍

沙二上油藏为古近系地层。区内发育濮12、濮24、文17三条三级断层，将其进一步细分为三个断块，但不影响断块的完整性。该油藏为辫状河三角洲前缘砂沉积，属于快速沉积类型，辫状水道发育，发育中孔、中渗储层。砂层在剖面上极为发育，厚度大、层数多，且泥质含量较高。

沙二上油藏于1980年开始开发，已经过6个开发阶段，截止到2024年6月底，综合含水97.9%。

2 油藏再认识

2.1 小层划分与对比

本次小层划分与对比^{[1][2]}围绕沙二上地层展开。地层划分与对比遵循以下原则：①“旋回对比、分级控制、动态验证、调整完善”的原则；②“分层统一性原则：从大到小依次分为“段”、“砂层组”、“小层”；地层对比方法是：首先利用测井资料结合取心井进行岩性识别，寻找标志层和旋回性，在此基础上按照理论指导进行精细地层对比。

由于测井资料具较高分辨率，所以可为地层界面的识别提供良好的资料基础。利用测井资料确定地层界面是在对取心资料分析的基础上进行的，利用取心井段所建立起来的地层界面的测井响应模型来指导非取心井段的测井资料的地层界面的识别。

岩心资料具有直观、可靠、易识别以及分辨率高等特点，是进行地层界面识别的基础。岩心的地层界面是在地层叠加样式分析的基础上识别出来的。在岩心上识别地层的标志包括：地层中存在冲刷现象并在冲刷面之上发育底部滞留沉积，代表了界面的顶、底边界；岩相类型或岩相组合沿时间序列发生突变：水体环境向上变浅的相序突然转换为水体环境向上变深的相序（相序突变），代表了层序的顶、底边界；岩相类型或岩相组合沿时间序列存在跳相现象，即相序的不连续或缺失；发育下切谷或谷地充填：下切谷是河流冲刷作用增强的产物，而

谷地充填是剥蚀、搬运而来的沉积物在地表之上堆集的产物，二者的底界面均代表了层序的顶、底边界；发育根土岩与古土壤层：根土岩与古土壤层是地层的转换面的反映，即代表了层序的顶、底边界。

根据取芯井岩石特征及近642口开发井的测井资料的反复对比，确定了两大标志层。综合考虑储层的沉积特点及油藏范围，选择砂层发育较全、砂层较厚、无断点、资料齐全的井作为骨架剖面划分小层。由已划分小层的井点与相邻两侧的井进行小层标志层的对比。为了更确切地反映砂体在垂向上的韵律性及每个砂体的展布规律，将沙二上地层划分为19个小层。小层的底界面取砂层之间的稳定泥岩段最低电阻处。沙二上2砂组包括9个小层，沙二上3砂组包括10个小层。

2.2 构造认识

以油藏的主要产油层为主要目标，用上文中建立的标准剖面去地层对比，考虑沙二上的沉积相变化特征，考虑时深关系是否合理，参考生产历史中是否见效等因素，综合的描绘低序级断层。

以往的生产历史厚砂组油藏低序级断层描绘较少，认为砂体发育较厚，低序级断层在厚砂组低泥岩的河道中不影响储层的相通性。但是随着油田开发程度的增加，油藏的开发越来越需要精细的描述。

经过构造新研究，该区构造没有大的改变，在濮53断块内新增加了濮3-169断层，断层延伸较小，只有0.01km，钻遇井为濮3-169井，在文17断块内新增加了濮2-305断层，断层延伸较小，只有0.01km，钻遇井为濮2-305井。

2.3 储层优势渗流通道研究

沉积相研究成果表明，沙二上储层各沉积微相的岩性、物性呈有规律的分布，由辫状河道—前缘砂微相—远砂微相—泥坪微相，其物性由好变差。沉积微相也控制了含油性，辫状河道是有利的含油相带，而前缘砂次之，远砂含油性较差。储层

物性越好,含油级别越高,含油性严重受灰质含量的影响,含泥、含灰的粉砂岩一般不含油,由于钙质含量的不同,甚至会造成块状砂岩内部存在含油与不含油的明显界面。不同成因油砂体原始的含油性及其渗透率的变化受其沉积环境控制。

沉积韵律控制大孔道的纵向分布。正韵律油层总的趋势是下粗上细,下部为砾、砂等粗粒沉积,上部为细粒沉积,物性也是下好上差。反韵律油层物性为下差往上逐渐变好。

储层在形成优势渗流通道后,同时由于其颗粒组成、矿物成分和物性、含油气性都发生了比较明显的改变,这些变化也必然导致储层的测井响应发生变化。因而大孔道在测井曲线上表现为明显的强水淹层特征,故可以通过电性的变化特征定性识别出储层大孔道可能发育的层段。自然电位存在明显的“基线偏移”,微电极系测井曲线出现幅度差异,大孔道井段幅度差异明显大于邻层,声波时差增大的井段,吸水剖面特征等。

在开发过程中,储层受到注入水长期冲刷、侵蚀,孔隙结构会发生很大变化,两种因素共同作用,最终在储层中形成次生高渗条带,即优势通道。最后确定孔隙度、渗透率、有效厚度、渗透率级差、相对吸水百分数等作为此次评价沙二上优势渗流通道^[1]发育程度的指标。

2.4 数值模拟

储层地质模型集中体现和深化了前期油藏描述的成果,是油藏描述的最终表现形式;是储层特征及其非均质性在三维空间上变化和分布的表征,综合反映了油藏的构造形态,储层空间分布及储层物性和含油性的差异分布,通过建立地质模型使得我们对整个油藏有更直观更深入的认识。

2.4.1 构造模型

对于复杂断陷盆地内所形成的油气藏,首先必须建立高精度的断层模型,断层模型的空间展布形态,直接决定着网格模型、层面模型的精度和质量。沙二上油藏构造复杂,断层发育,油藏主要控块断层有:濮19、濮25、濮14、濮12、文17等,其中濮25、濮19断层在东濮凹陷内属II级断层,其余几条为III级断层,控制油藏的油水分布。

上述主要控块断层将沙二上油藏划分为三个主要含油断块区:濮12块、濮24块、文17块。濮12块位于濮12断层以东,地层南东倾,倾角 8° 左右,构造高点在濮65-9井附近。受濮12断层影响,断块上大下小。濮24块由濮24断层与濮19断层向下掉形成的地堑,地层倾向SE,内部断层发育,构造破碎,零星含油。文17断块位于文17和濮24断层所夹持的断阶带,表现为被内部小断层复杂化的鼻状构造,地层向东、东北、东南方向倾斜,倾角 4° - 11° 。文17断块区内部发育的小断层,走向NE,倾向NW,倾角 60° 左右,断距10-25m左右。

断层模型包括濮19、濮25、濮14、濮12、文17等控块

断层及块内小断层,共计23条。

2.4.2 沉积相模型

该油藏经过40余年的勘探开发历程,已形成较为系统的地质认识。沉积相建模时,选取四种代表性沉积微相进行区分,分别为水道、前缘砂、远砂和泥坪,其中水道物性较好,前缘砂物性中等、远砂物性较差,在后续进行属性建模时通过限定各个岩相的孔隙度、渗透率、饱和度等的物性参数上下限加以区分,使属性模型更明确地反映基于沉积相的物性分布特征。

2.4.3 属性模型

首先是孔渗模型建模,先对输入参数进行异常值剔除、高值截断和正态分布转换;然后利用转换后的数据进行井间预测,由已知数据预测未知,必然要用到一定的算法,比如克里格、序贯高斯等。而不同方法预测的前提是必须进行数据分析,求取不同算法中参数的区域化变量和变差函数。其次是储层净毛比模型。净毛比是有效厚度与砂岩厚度的比值,本次建立的构造模型,对厚油层进行了网格细分,建立净毛比模型时,通过绘制的有效厚度图确定含油边界,纵向上根据有效厚度下限标准及孔渗模型,建立净毛比模型。

2.4.4 隔夹层建模

隔夹层建模的关键是确定隔夹层的产状及规模、明确其对流体的分隔特性。研究区发育泥质、物性、钙质三类夹层,泥质夹层多为小层、单层间的隔层或隔层型夹层,厚度大,分布稳定,对流体分隔作用强;物性、钙质夹层多为单一成因砂体内部夹层,为岩石相单元界面,厚度小,分布范围小,随机性强,对流体分隔作用相对较弱,仅影响局部的流体分布。

2.4.5 数值模拟应用

沙二上油藏,网格方向选择与断层平行的方向或主渗流方向。按照精细模拟的要求,在考虑今后可能的加密调整后,相邻井之间最好相隔三个网格以上,计算结果才能基本反映油藏的非均质性,准确模拟油藏的生产动态和剩余油分布。根据以上要求,建立了平面模拟网格。其中断层22条,小层数19个,网格步长20m,总网格数量为357.4万个。

拟合指标主要是:储量、压力、含水率、瞬时产油、累积产油。拟合顺序是先对全区压力、含水率指标进行趋势拟合,再对单井指标进行拟合。在拟合时先修改较稳定的参数,将模型中的一部分参数确定下来,然后修改不稳定参数进行开发指标拟合。主要通过修改全区和单井的静动态参数,如油藏的岩石压缩系数、油水相对渗透率曲线、方向渗透率、方向传导率、注采比等参数来拟合这些指标。由于全区与局部的压力、含水率之间是一个协同的系统,在单井指标拟合过程中必须确保全区指标的拟合精度不断提高,达到较满意的结果。

在油藏数值模拟^{[4][5]}中, 储量计算是基础, 它反映在模拟中建立的地质模型, 是否与油藏实际相吻合。地质模型越接近油藏实际, 模拟预测结果越具说服力。

油藏储量的大小主要受有效厚度、孔隙度、饱和度的影响, 这三个参数均由三维精细地质建模确定。在进行储量计算时, 根据计算误差利用网格模型对参数进行个别调整。

孔隙度主要根据测井解释, 由建立的 $\Phi-\Delta t$ 图版确定, 具有较好的可信度, 且此参数敏感性较强。因此, 只在小范围内对个别插值点进行了调整。

有效厚度由岩芯分析、测井解释等综合研究确定, 比较准确。因此, 在进行储量拟合时, 没有作调整。

原始含油饱和度根据油水相对渗透率曲线及平衡区参数确定。

油藏历史拟合达到一定精度后, 地下剩余油饱和度和剩余地质储量才能可信。沙二上油藏纵向上共分有 19 个小层, 各流动单元剩余油分布规律如下:

沙二上 2 砂组: 剩余可动储量 $131.7 \times 10^4 \text{t}$ 。储层以河道砂体为骨架, 井网控制程度较高, 累积吸水量大, 水淹程度高; 前缘砂、远砂相物性较差, 水淹程度低。低含水剩余油连片分布在零线附近、断层高部位和复杂块; 沙二上 3 砂组: 剩余可采储量 $212.3 \times 10^4 \text{t}$ 。储层以河道砂体为主体, 井网控制程度高, 累积吸水量大, 目前水淹程度高。低含水剩余油连片分布在前缘砂、远砂相物性较差区域、断层高部位和复杂块。

3 方案部署及结果

在精细油藏研究的基础上, 通过优化主力层井网, 实现液

流转向均衡流场; 通过调驱调剖, 扩大水驱波及, 提高水驱效率; 通过细分注水, 提高层间动用程度, 实现深度水驱提高采收率的目标。

濮 53 块: 主要生产沙二上 3、5-10 小层, 局部注采失衡, 层间动用不均。部署思路是在完善注采井网的基础上, 通过液流优化均衡流场、细分注水动用层间潜力。

濮 12 块: 优势渗流通道发育, 水驱效率低。通过调剖封堵扩大水驱波及体积, 提高水驱效率。

文 17 块: 构造复杂, 井网不完善, 优势渗流通道发育。平面完善注采井网, 纵向上调剖提高水驱效率。

2025 年调整后与 2024 对比, 年产油增加 $0.24 \times 10^4 \text{t}$, 综合含水下降 0.38 个百分点。

预计方案实施后, 增加水驱控制储量 $5.9 \times 10^4 \text{t}$, 水驱动用储量 $10.7 \times 10^4 \text{t}$, 提高采收率 0.2%。

4 结论

(1) 好的储层会成为优势渗流通道, 长期的注水会扩大优势渗流通道的孔径。可通过吸水剖面等信息识别判断出优势渗流通道, 采取调剖的方式调整油藏的注水流线。压

(2) 在高开的油藏中, 不断细化地层对比方案, 识别描绘出新的断层, 挖潜新的圈闭中的剩余油, 是单井获得高产, 油藏综合含水下降的有效方法。

(3) 针对于厚砂组油藏, 低序级断层具有封闭储层的能力, 识别描述低序级断层, 可指导高开发油藏降含水工作。

参考文献:

- [1] 杨昱杰. 复杂构造多断层油藏小层对比分析[J]. 科技导报, 2009, 27(24): 46-50.
- [2] 高桂杰. 细化小层对比, 应用多项措施提高千 22 块采出程度[J]. 化工管理, 2013(12): 241-241.
- [3] 王鸣川, 石成方, 朱维耀, 等. 优势渗流通道识别与精确描述[J]. 油气地质与采收率, 2016, 23(1): 79-84.
- [4] 王鑫, 程钰鑫, 胡佳晨, 等. 考虑优势渗透条件下的溶质运移特征模拟研究[J]. 环境工程, 2025, 43(7): 159-166.
- [5] 赵树贤, 罗晓容. 石油微观渗流数值模拟实验[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(10): 1477-1480.