

油气藏数值试井模拟技术研究及应用分析

李淑静

天津市滨海新区大港油田 天津

【摘要】 油气藏数值模拟技术是现代油气田开发中的关键技术手段，其重点就是利用数字模拟的方式实现对油气藏进行动态分析，智能化预测处理。此技术手段在项目中应用，充分融合了渗流力学、地质建模与数字计算等不同的内容，可以实现对复杂油气藏的非均质性、多相流特性、井间干扰等诸多问题进行精确化分析。随着计算机技术的发展与成熟，数字模拟软件在油气藏中应用，具有显著的优势。

【关键词】 油气藏数值模拟；数值试井；历史拟合；储层参数；试井解释；动态预测；智能优化

【收稿日期】 2025 年 5 月 15 日

【出刊日期】 2025 年 6 月 6 日

【DOI】 10.12208/j.jer.20250280

Numerical well testing simulation technology and application analysis of oil and gas reservoirs

Shujing Li

Dagang Oilfield, Binhai New Area, Tianjin

【Abstract】 Numerical simulation technology for oil and gas reservoirs is a key technique in modern oil and gas field development. It focuses on using digital simulation to achieve dynamic analysis and intelligent prediction of oil and gas reservoirs. This technology, when applied in projects, integrates seepage mechanics, geological modeling, and numerical computation, enabling precise analysis of various issues such as the heterogeneity of complex reservoirs, multiphase flow characteristics, and inter-well interference. With the advancement and maturity of computer technology, the application of digital simulation software in oil and gas reservoirs has significant advantages.

【Keywords】 Numerical simulation of oil and gas reservoirs; Numerical well testing; Historical fitting; Reservoir parameters; Well testing interpretation; Dynamic prediction; Intelligent optimization

随着油气资源开发的日益深入，通过数字化方式进行处理，建立渗流模型，离散方程等方式进行处理，可以实现对油气藏的地质因素、开发因素等进行系统分析，进而精准的描述油气藏的实际状况。在实践中应用油气藏数值技术手段，可以实现动态分析、优化开发方案，具有显著的特征优势。在现代化技术手段日益成熟的过程中，合理应用油气藏数值技术手段，可以有效推动油气藏开发的智能化、多尺度化发展，进而为油气田开发提供高效、精准的优化方案。

1 建立预警模型早期干预

油气藏数值试井模拟技术在应用中可以通过精细化地质建模、智能化反演算法等方式进行处理，继而解决在油气藏中存在的欠注井、预警等问题。在应用中通过数值模拟的方式构建预警模型，可以有效实现早期干预。在应用中，主要就是对关键参数进行反演，实现智能化分析。

2 油气藏数值试井模拟技术及应用

基于油气藏数值试井模拟技术对其进行处理，其关键技术手段以及应用要点具体如下：

2.1 多源数据融合关键技术

数据标准化与结构化是多源数据融合的重点之一，在应用中要统一元数据规范，保障符合系统应用需求。对于非结构数据要进行集中处理，其中岩心描述文本要处理为数字化表格。将获得 PDF 报告转化为机器可读取数据。

2.2 欠注预警智能系统建模

通过系统进行基础信息数据的采集处理，其中静态数据主要包括了静态数据与动态数据。

静态数据：岩心分析、测井曲线、地震解释、沉积相分布等信息数据。而动态数据则主要包括了试井压力史、生产流量、含水率、井轨迹坐标等。

全局通过笛卡尔网格(100×100m)对其进行设计，保障其覆盖目标井组。局部要通过加密方式进行处理，注水井进井区的径向网格最小尺寸要保障为 0.1m。裂

缝带主要就是应用非结构网格，其要严格网格缝隙延伸的方向进行加密处理。

2.3 属性场赋值

属性场赋值如表 1 所示。

表 1 属性场赋值

属性	赋值方法	欠注诊断敏感性
渗透率	相控建模（泥质含量<15%区域乘数 1.5）	污染区渗透率衰减至 10%原值
表皮系数	分区赋值（污染半径内设为高值）	梯度变化模拟堵塞物扩散
裂缝参数	时变导流能力： $F_c(t)=F_{c0} \cdot e^{(-0.001t)}$	模拟压裂裂缝闭合动态

2.4 流体与井模型

2.4.1 流体模型

主要是通过黑油模型，实现油水两相处理，利用注入水结构的方式预测模型实现动态分析。

2.4.2 井模型

注入井：考虑井筒存储效应 + 变表皮系数；
观测井：设置压力监测点捕捉压力干扰。

2.5 初始模拟

2.5.1 输入

基线压力响应生成，对其进行动态模拟，其中输入主要是通过没有调整的初始地质模型对其进行分析，可以基于静态数据进行处理。

2.5.2 输出

主要是通过通过对压力曲线、实测曲线的动态分析，计算初始误差，一般 30%。同时，要重点做好关键差异点定位处理。

2.6 历史拟合

其目标函数主要应用最小化实测压力、模拟压力残差进行处理，其中 $RMSE < 0.15MPa$ 。在应用中，关

键反演参数主要就是通过断层封闭性 (T_f)、主力砂体渗透率 (K_h)、层间窜流系数 (λ) 利用差分进化算法进行处理，可以提高反演效率。在系统应用中就是通过分级调整策略进行处理。

2.7 欠注井筛选与预警

2.7.1 欠注井的筛选

在操作中，要将资料进行集中化处理，将压降指数归一化后，根据大小等级对其进行拍;许，通过分析则可以发现：

相对较大的井重点预测井是否会出现欠注的问题，另外将区块所有试井曲线归一化后，画出同一坐标系中，通过分析可以发现，其中位置较高井的渗透率相对较低，因此，会导致出现欠注的问题。其中，以孔二馆陶北油田（注水驱）为例孔 1095、孔 1032 井压降指数远高于于平均值，应通过水井改良措施增注。同时，通过分析可以发现，在孔店二断块馆陶南二元结合驱中，存在注水井的压降指数、充满度、压力系数较低，而注聚井较高，说明注聚后渗流能力明显降低，聚合物堵塞可能导致欠注。其如图 1.2.3 所示。

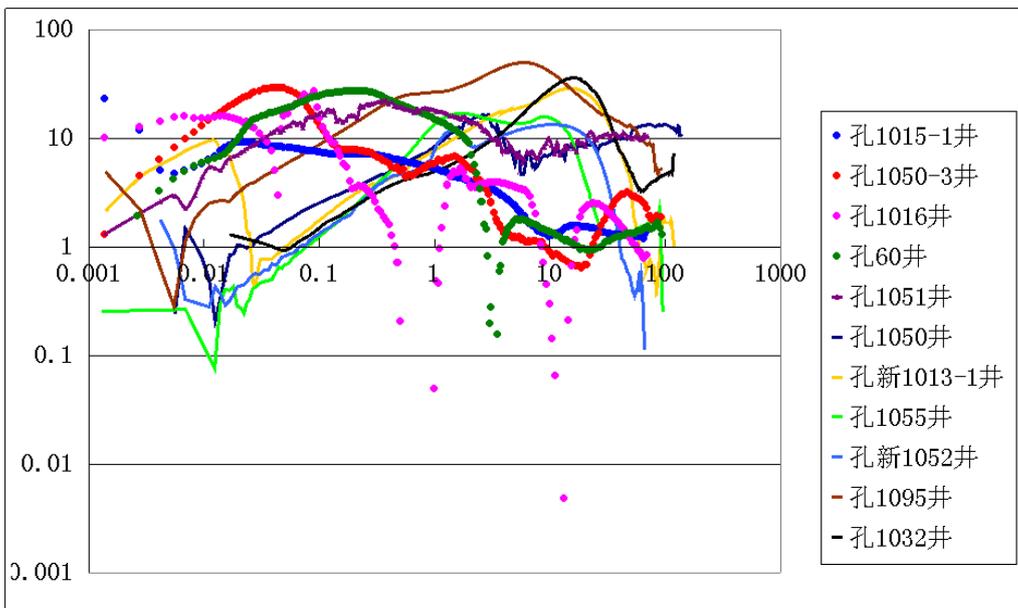


图 1 孔二馆陶北油田（注水驱）

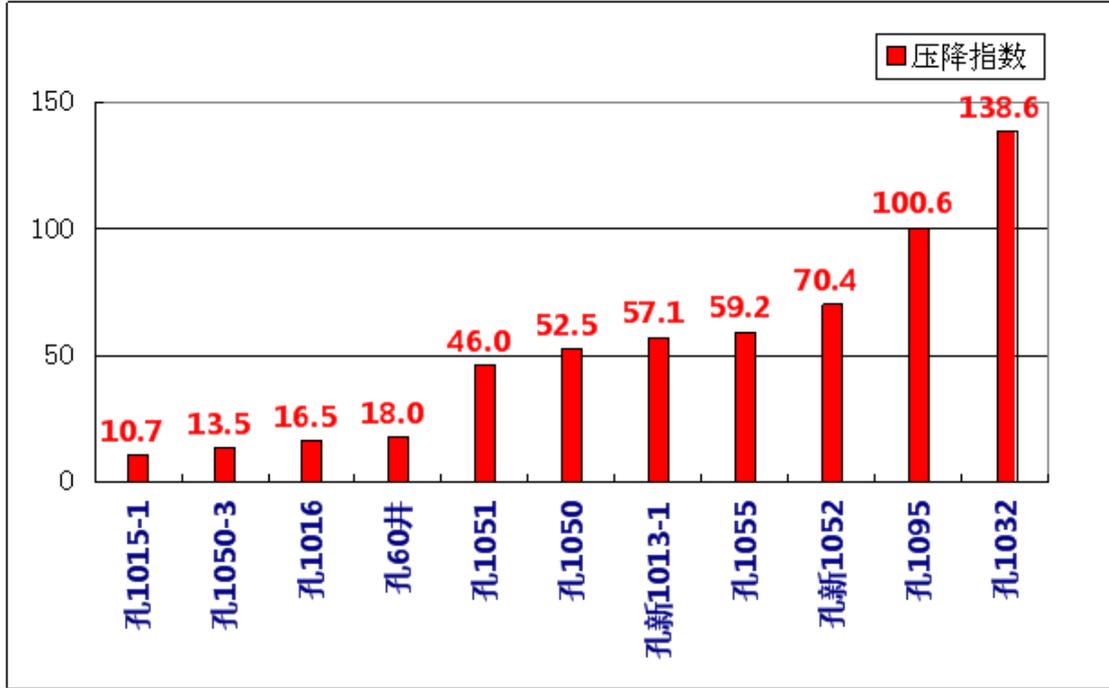


图2 压降指数

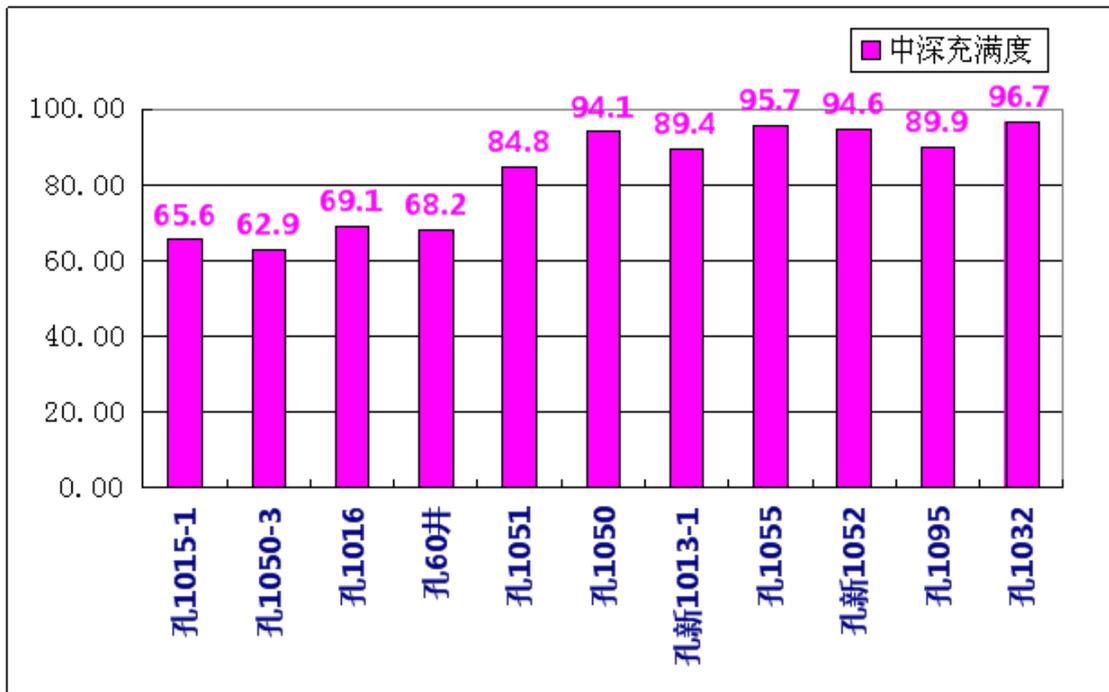


图3 中深充满度

同时,通过分析可以发现,在孔店二断块馆陶南二元结合驱中,存在注水井的压降指数、充满度、压力系数较低,而注聚井较高,说明注聚后渗流能力明显降低,聚合物堵塞可能导致欠注。

2.7.2 欠注井的预警

通过构建智能化预警系统,可以实现动态分析。因

为高渗透层容易受到污染,对此在模拟中要对其变化状态进行连续的跟踪处理,有效预防出现欠注等问题。通过对孔二馆陶北区块11井次的表皮系数统计数据析:渗流能力较好的井如孔1050-3、孔60、孔1016等,表皮系数为正值,地层有一定污染,而渗流能力较差井如:孔1095、孔1032井,表皮系数为负值,未受到污

染。说明高渗透地层容易造成污染。

2.8 参数解释与不确定性分析

通过分析关键参数,了解其解释方式,以及输出手段,对其进行量化处理,则可以通过模拟技术构建优化

方案,其主要技术手段如表 2。

不确定性量化主要就是通过马尔可夫链蒙特卡洛(MCMC)抽样处理,根据实际状况对其进行预测,其主要动态预测场景如表 3 所示。

表 2 关键参数定量解释

参数	解释方法	输出
污染半径	拟合最佳匹配半径	KD-7x: R_damage=8.7m
有效注水能力	模拟注水指数 vs 理论值比值	低渗井: 0.35 (<0.5 预警)
裂缝闭合速率	时变导流能力衰减系数 α	$\alpha=0.0015/d$ (快闭合预警)

表 3 动态预测场景设计

场景	模拟条件	决策目标
酸洗解堵	表皮系数降至 3, 污染半径缩至 1m	预测增注量+注水压力降
重复压裂	导流能力恢复至初始值 80%	评估有效期与经济回报率
注水调整	配注量下调 20%+ 调剖剂注入	平衡井组压力与含水率

3 结束语

数值试井模拟主要就是对复杂储层进行动态分析,是现代油气藏评价中重要的技术手段。通过多种技术进行优化处理,可以有效提高施工作业的可靠性。目前,此技术呈现智能化、集成化以及实时性的发展趋势。今后,要重点利用多尺度模型以及不确定性量化技术进行处理,方可有效发展其内在价值与作用。

参考文献

- [1] 邢翠巧.缝洞型碳酸盐岩油藏两相流数值试井理论及应用研究[D].东北石油大学,2023.
- [2] 罗弘,甘笑非,赵玄之,等.基于井间干扰模型的气井压力恢复数值试井技术[C]//中国石油学会天然气专业委员会.第 33 届全国天然气学术年会(2023)论文集(02 气藏开发).中国石油西南油气田公司川中油气矿,2023: 233-245
- [3] 甘笑非,易劲,欧家强,等.基于井间干扰模型的气井压力

恢复数值试井技术[J].油气井测试,2022,31(03):9-15.

- [4] 孙璐阳.砂岩油藏多井条件下数值试井分析方法研究[D].中国石油大学(北京),2022.
- [5] 赵林.基于机器学习算法的气藏水侵数值试井方法研究[D].中国石油大学(北京),2021.
- [6] 何孟袁.缝洞型气藏数值试井理论及应用研究[D].西南石油大学,2019.
- [7] 刘强,郑海陵.基于多井试井解释的数值试井方法及其应用[J].中国石油和化工标准与质量,2018,38(16):77-78.
- [8] 殷川.BZ2 油藏数值试井技术应用研究[D].中国石油大学(华东),2018.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

