

调剖堵水技术在南堡油田的应用

任倩倩 杨 勇 任斌斌 (中国石油冀东油田分公司, 河北 唐山 063200)

摘 要: 油田开发进入中高含水期后, 由于大孔道或高渗条带的存在, 无效水循环加剧, 常规措施无法解决无效水循环问题, 调剖堵水措施可扩大水驱波及体积, 改善水驱开发效果, 达到增油降水, 提高采收率的目的。本文针对南堡油田分析了堵水调剖工艺在南堡油田的应用。

关键词: 堵水调剖技术; 南堡油田; 提高采收率; 应用

目前多数油田已进入高含水期和特高含水水开发期, 注入水在高渗透层内低效和无效循环, 严重影响水驱开发效果。堵水调剖技术作为一项改善水驱开发效果、实现油藏稳产的重要手段, 已在高含水油田得到成功应用。南堡油田以注水开发为主, 整体处于中含水阶段, 个别区块含水 > 80%, 开展相关调剖堵水治理措施的研究, 对开发后期改善水驱开发效果, 提高采收率, 具有很强的针对性及现实意义。

1 堵水调剖选井、选层方法

1.1 调剖选井指标选择原则

①有效性。评价指标集里的每一个指标都反映调剖选井影响因素在某一方面的优劣; ②弱相关性。根据实际数据筛选的指标, 指标间可能存在不同程度的相关性, 即不同指标可能反映的含义是重复的, 此时需要对重复指标进行优选; ③适用性。针对研究油田的实际情况, 选取适用、易评价的指标。

1.2 调剖选井评价指标

调剖选井应考虑储层非均质性、水井动态指标, 水井动态指标, 将调剖选井评价指标分为3大类、8项指标。水井动态指标方面, 一方面考虑视吸水指数, 通过视吸水指数来衡量, 另一方面通过压降曲线衡量压力指数。通过渗透率非均质性变异系数、吸水剖面百分数变异系数及水驱速度反应储层非均质性。在油井的动态指标方面, 包括区块的采出程度、含水率及产液量三个指标。

1.3 调剖选井评价指标敏感性分析

由调剖选井评价指标出发, 将评价指标转化为可用于对比分析的数值化指标, 并对其敏感性进行分析。①吸水能力评价指标敏感性分析。视米吸水指数指的是日注水量与注水压力及射开厚度的比值, 视米吸水指数较大的井存在高渗透层的可能性较大, 越需要调剖。压力指数值反映储层的渗透性能, 值越小说明渗透性能好, 越需要调剖; ②储层非均质性评价指标敏感性分析。吸水百分含量变异系数数值越大垂向非均质性越强, 越需要调剖。渗透率变异系数数值越大非均质性越强, 越需要调剖。水驱速度数值越大渗透性越好, 高渗条带形成可能性越大越需要调剖; ③油井动态评价指标敏感性分析。含水率数值越大地层含水率越低, 越需要调剖。产液量数值越高说明无效水循环越严重, 越需要调剖。采出程度越小, 水驱效果越差, 越需要调剖。

1.4 选井指标归类

①通过对选出的8个调剖指标进行敏感性分析后将指标分为两类: 越大越优型、越小越优型。越大越优型: 视米吸水指数、吸水百分含量变异系数、渗透率变异系数、含水率、水驱速度、采出程度; 越小越优型: 压力指数、采出程度。②选井指标归一化处理。每个选井指标数值大小不一, 难以进行对比选择, 为了更好的进行对比分析, 根据实际问题的特点, 选用梯形分布隶属函数对目标区块各指标进行归一化处理, 得到单指标决策因子。

1.5 调剖选井方法

据调研成果及南堡油田自身特点, 综合优选层次分析+模糊评判法作为本次研究的调剖选井、选层方法。

1.5.1 层次分析法确定各调剖指标权重

标度	含义
1	表示两个因素相比, 具有同样重要
2	介于两相邻 1、3 判断的中值
3	表示两个因素相比, 一个比另一个稍微重要
4	介于两相邻 3、5 判断的中值
5	表示两个因素相比, 一个比另一个明显重要
6	介于两相邻 5、7 判断的中值
7	表示两个因素相比, 一个比另一个强烈重要
8	介于两相邻 7、9 判断的中值
9	表示两个因素相比, 一个比另一个极端重要

$$\text{构建矩阵} \rightarrow C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{1j} \\ c_{21} & c_{2j} \\ \vdots & \vdots \\ c_{i1} & c_{ij} \end{bmatrix}$$

图1 层次分析法标度表

利用上面的判断矩阵采用和积法来计算指标的权重, 计算公式如下:

$$x_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij}} \quad i=1, 2, \dots, n$$

将各指标因素的权重 ($\lambda_i > 0$ 且 $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$), 写成向量形式 $\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n\}$ 。

1.5.2 建立单因素模糊评判矩阵

利用归一化后的单因素决策因子建立8个选井指标决策因子集合 $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$ 。

建立3个决策评语 (需调剖、可调剖、不调剖) 组成的决策评语集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 。

以南堡油田2号构造注水区块水井为样本, 通过分析选井指标决策因子初始注水时调剖指标数据与目前调剖指数据的上下极限值、平均值, 将评价指标分为3类:

①需调剖: $J > Tmp$ 。Tmp: 目前调剖指标平均值; ②可调剖: $(Tcz+Tmp)/2 \leq J \leq Tmp$ 。Tcz: 初始注水时最大指标值; ③不调剖: $J < (Tcz+Tmp)/2$ 。J: 决策因子。

建立单因素模糊评判矩阵 F。

$$F_j = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{1j} \\ F_{21} & F_{2j} \\ F_{i1} & F_{ij} \end{bmatrix}$$

定义: $F=U \oplus V$, F 是 $V \times U$ 的模糊关系; $F_{ij} = (u_i, v_j)$ 表示指标 u_i 在决策 v_j 上的隶属关系; J 表示区块总水井数, i 表示调剖评价指标数, F_{ij} 表示第 j 口井的第 i 个因素的隶属度。

1.5.3 建立模糊综合评判模型

利用前面的权重向量和单因素评判矩阵, 建立模糊综合评判模型:

$$J = \lambda \cdot \begin{bmatrix} F_{11} & F_{1j} \\ F_{21} & F_{2j} \\ F_{i1} & F_{ij} \end{bmatrix} = \{j_1, j_2, j_3, \dots, j_j\}$$

其中: J 表示综合选井决策因子, 最大值 J_j 所对应的 v_j 决策评语为评判结果。

1.6 调剖选层

在选定调剖井之后, 要对调剖井进行选层, 影响选层的因素主要有渗透率、相对吸水百分数、层累计注采比 3 个方面。单层渗透率: 渗透率反映油层渗透能力, 注入水沿着高渗层突进, 造成注入水不均匀水洗, 剩余油集中在低渗透层, 在选择调剖层位时, 应选择渗透率比较大的层位进行调剖。单层相对吸水百分数: 相对吸水百分数反映目前油层的非均质性, 吸水百分数越大的层, 形成平面指进和底部突进的可能性越大, 在选择调剖层位时, 应选择相对吸水百分数比较大的层位进行调剖。单层累计注采比: 单层累计注采比反映油层的注采平衡关系, 单层累计注采比越大的井, 形成大孔道的可能性越大, 应选择单层累计注采比值比较大的层位进行调剖。

计算方法:

1.6.1 建立选层指标矩阵

单层渗透率指标矩阵: $K=[K_1 K_2 K_3 \dots K_i]$ 。其中: K_i 表示每个单层的渗透率; n 表示层。单层每米吸水百分数指标矩阵: $W=[W_1 W_2 W_3 \dots W_i]$ 。其中: W_i 表示每个单层的每米相对吸水百分数 i 表示层数。单层累计注采比指标矩阵: $L=[L_1 L_2 L_3 \dots L_i]$ 。其中: L_i 表示每个单层的每米相对吸水百分数, i 表示层数。

1.6.2 转化为决策因子矩阵

3 个参数均为越大越优性, 采用升半梯形分布隶属函数, 得到调剖目的层的决策因子矩阵:

$$\mu_A(x) = \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, \quad a_1 < x \leq a_2$$

升半梯形分布隶属函数, 适用于越大越优型指标。

决策因子矩阵:

$$D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & \dots & D_{1i} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & \dots & D_{2i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_{j1} & D_{j2} & D_{j3} & \dots & D_{ji} \end{bmatrix}$$

其中: $D(j, i)$ 表示调剖井第 i 单层的第 j 种因素的决策因子; $i_{\max}$ 表示层数 $j_{\max}$ 表示指标数。

1.6.3 专家法确定权重

对单层渗透率、单层每米相对吸水百分数、单层累计注采比进行权重打分得到权重向量:

$$\lambda = [0.3, 0.4, 0.3]$$

1.6.4 建立多因素模糊决策选层模型

多因素模糊决策因子 F 为:

$$F = \lambda D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & \dots & D_{1i} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & \dots & D_{2i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_{j1} & D_{j2} & D_{j3} & \dots & D_{ji} \end{bmatrix}$$

选择决策因子最大的层实施调剖。

2 应用效果分析

冀东油田南堡某区浅层油藏是被断层复杂化的背斜构造, 试验区 Ng II 5-6 小层, 采用边底水天然能量开发。试验区共有采油井 4 口, 开井 3 口, 日产液 27t, 日产油 3t, 综合含水 88.9%, 地质储量采出程度 11.9%。由于储层非均质性强、油水关系复杂和多年来持续强采导致边底水不均匀推进, 水淹程度严重不均, 严重影响开发效果。运用上述方法对冀东油田 2 号构造 31 口水井进行评价, 综合分析确定 8 口调剖井, 5 口可调井, 18 口井注水正常无需调剖, 与当前的动态分析结果相吻合, 验证了评价方法的可行性。

通过对 X2418 井、X2428 井实施堵水调剖措施, 共计 3 口油井受效平均日增油 5.82t, 计递减累增油 926t。

3 结论

①建立了南堡油田调剖选井选层的原则及方法, 并通过应用证实了评价方法的可靠性; ②通过矿场试验, 取得了良好的增油降水效果, 为其他区块开展调剖治理提供了借鉴, 印证了在南堡油田开展调剖治理工作研究的必要性。

参考文献:

- [1] 何江川, 廖广志, 王正茂. 关于二次开发与三次采油关系的探讨 [J]. 西南石油大学学报 (自然科学版), 2011, 33(3): 96-100.
- [2] 刘翔鹤. 1997 油田堵水技术论文集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.

作者简介:

任倩倩 (1984-), 女, 2008 年毕业于长江大学地球科学学院地质学院, 获学士学位, 工程师, 现在中国石油冀东油田分公司南堡作业区地质研究所。