

吸水剖面预测模型在层系优化组合中的应用

——以濮城油田文51块沙二段下亚段油藏为例

余传谋,王羽君

(中国石化中原油田分公司 采油二厂,河南 濮阳 457532)

摘要:濮城油田文51块沙二段下亚段油藏层间矛盾突出,非均质性强,通过建立吸水剖面预测模型进行层系优化组合,从而提高Ⅱ类和Ⅲ类层的采收率。利用地层物性资料及油水井参数,采用智能群算法,计算不同地质开发因素对注水井吸水剖面变化的影响权重,量化不同因素的影响程度,建立吸水剖面预测模型,进而预测不同分层条件下注水井吸水剖面的变化,优化分层注水措施,提高该类油藏Ⅱ类和Ⅲ类层的水驱动用程度,实现了濮城油田文51块沙二段下亚段油藏特高含水期开发对象的转移。自2008年12月应用以来,研究区综合含水率降低了4.7%,产油量连续5 a稳步提升,累积增油量为 1.2×10^4 t,开发效果得到了明显改善。

关键词:吸水剖面 层系优化 分层注水 文51块 濮城油田

中图分类号: TE319

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)03-0102-03

濮城油田文51块位于东濮凹陷中央隆起带北部与濮城、文留构造的结合部,北与濮城油田主体南区相连,西以文51断层为界,东、南以文128断层为界,其沙二段下亚段油藏(简称文51块油藏)含油面积为 8.7 km^2 ,石油地质储量为 $809 \times 10^4 \text{ t}$,为湖泊三角洲沉积体系,属于多油层非均质复杂断块油藏,平面及层间非均质性强^[1]。油藏注水开发时间已达26 a,截至2008年12月综合含水率为91.4%,采出程度为30.4%,已进入特高含水期。为进一步提高油藏采收率,利用历年吸水剖面资料,分析不同注水开发条件下各种地质开发参数对吸水剖面的影响权重,建立吸水剖面预测模型,调整层间矛盾,启动该油藏的Ⅱ类和Ⅲ类层,提高水驱动用程度,从而达到科学合理地优化分层注水方案的目的^[2]。

1 吸水剖面主要影响因素

吸水剖面能够反映一定井段内各个小层吸水状况差异,这种差异是各小层间注采系统渗流特征差异的体现。根据传统的达西定律渗流公式,影响渗流特征的主要因素有生产压差、渗流面积、流动距离和渗透率^[3]。在吸水剖面的注采系统中,注水井为注入端,对应油井为产出端。由此可知,影响注水井吸水剖面的主要因素为注水井与对应油井

的相关参数,其中注水井参数包括表征沉积微相的砂体厚度、孔隙度和渗透率,表征合注状况的突进系数,表征注水压差的注水压力和注水量;油井参数主要包括表征沉积微相的油层厚度、孔隙度和渗透率,表征生产状况的产液量以及油水井井距^[4]。

2 吸水剖面预测模型

通过分析吸水剖面的影响因素可知,各影响因素之间不是简单的线性关系,而是完全的非线性关系。自适应模糊神经网络系统具有非线性映射和抗噪声学习能力,可以用来建立影响因素与吸水剖面之间的量化关系和预测模型。但是传统的模糊神经网络多采用遗传算法和模拟退火算法等,在构建吸水剖面预测模型时,表现出拟合时间长和精度偏低等缺点,笔者使用智能群算法可以减少拟合时间,提高其精度。

2.1 智能群算法

智能群算法^[5-6]的原理是相同时间段内越短的路径被访问的次数越多,因此后续访问这条路径的几率越大,最终所有访问都归一到此路径上。由此可见,该算法不需任何先验知识,最初只是随机地选择搜索路径,随着对其空间的了解,搜索变得有规律,并逐渐逼近直至最终达到全局最优解。

收稿日期:2014-03-11。

作者简介:余传谋,男,教授级高级工程师,从事油藏评价及开发工作。联系电话:13939330656, E-mail:cy02ycm02@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“东濮凹陷油气富集规律与增储领域”(2011ZX05006-004)。

当所有蚂蚁完成一次遍历之后,各路径上的信息素再根据信息进行全局更新,其公式为

$$\tau_{ij}(n+t) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t) \quad (1)$$

式中: $\tau_{ij}(n+t)$ 为更新后的信息素强度; n 为要访问的城市数; t 为时间, s ; ρ 为路径上信息素数量的蒸发率, %; $\tau_{ij}(t)$ 为时间 t 时由 i 到 j 的信息素强度; k 为某一只蚂蚁; m 为蚂蚁数量, 只; $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ 为时间 t 时第 k 只蚂蚁从 i 到 j 所留下来的信息素。

若第 k 只蚂蚁走过从 i 到 j 的路径时, 信息素强度为

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \frac{Q}{\sum L_k} \quad (2)$$

式中: Q 为常数; L_k 是第 k 只蚂蚁走过的路径长度, m 。

否则, 信息素强度为

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = 0 \quad (3)$$

智能群算法的模糊神经网络应用于构建吸水剖面预测模型, 主要包括3个步骤: ①将各影响因素输入模型, 并随即初始化其在模型中的权重; ②针对相对吸水量目标函数进行拟合, 使用智能群算法调整各影响因素权重; ③得到合理权重系列后, 计算出相对吸水量和实际数据之差, 满足误差需要^[7]。

2.2 预测模型

吸水剖面预测模型主要是在对历史数据回归的基础上构建而成的, 关键是找到各影响因素与小层相对吸水量的量化关系, 即找到影响因素权重及系统模糊规则。借助 MATLAB 建立并模拟预测模型^[8]。参与模型拟合计算的所有吸水剖面相对吸水量数据与实际资料的拟合结果相对误差小于5%, 利用建立的吸水剖面预测模型, 对文51块油藏未参与拟合计算的4口注水井11次吸水剖面资料进行预测。将4口注水井的各影响因素参数输入预测模型, 计算出各井各小层相对吸水量, 与实际资料进行对比(图1)可见, 预测值与实际值较吻合, 可靠性较高。

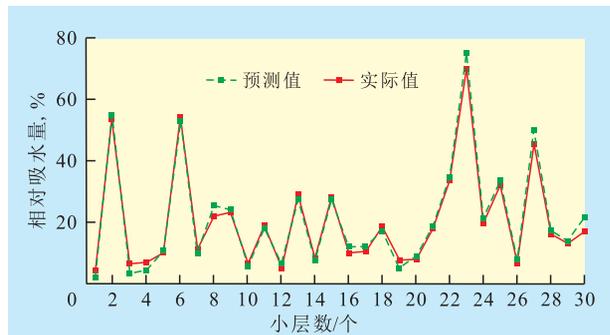


图1 文51块油藏吸水剖面预测模型预测值与实际值对比

3 层系优化组合

3.1 组合目的

文51块油藏的Ⅰ类层注入孔隙体积倍数高, 采出程度高; Ⅱ类和Ⅲ类层水驱动用程度低, 采出程度低。层系优化组合的目的就是各层段划分后, 保证各小层在层段内突进系数不宜过大, 单个层段沉积韵律较为单一, 从而提高油藏Ⅱ类和Ⅲ类层的相对吸水量^[9-10]。通过模型来预测划分后的各小层吸水状况, 若以各小层相对吸水较为平衡为达到设计目的, 可采用此划分方式; 若各小层相对吸水状况仍然不均匀, 则根据预测结果重新调整注水层段, 使之最终达到各小层吸水均匀的目的。

3.2 分段界限

注水层段划分越细, 渗透率级差就越小, Ⅱ类和Ⅲ类层的相对吸水量越高, 层系优化调整效果越好^[11]。在实际生产过程中, 综合考虑工艺技术水平及措施成本等条件, 不宜将层段划分过多。从图2可以看出, 渗透率级差拐点低于8时, Ⅱ类和Ⅲ类层相对吸水量大幅增加, 一般3段分注即可满足要求。

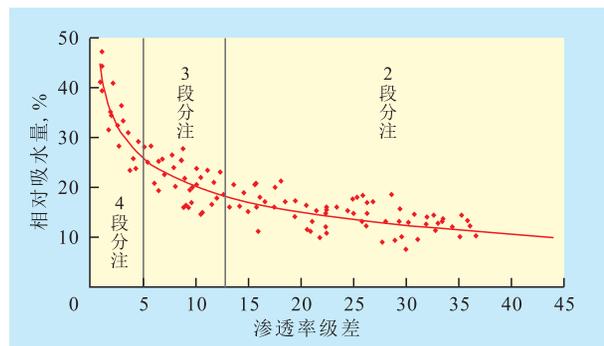


图2 文51块油藏相对吸水量与渗透率级差关系

3.3 优化设计

文51块油藏文51-226井早期笼统注水, 单层突进明显且Ⅱ类和Ⅲ类层得不到启动, 因此对该井设计了2段分注和3段分注2种注水井段层系重组模式。从注水井段层系重组方案主要参数(表1)可以看出, 段内层数及渗透率级差随着分注井段数的增加而减小。预测不同分注方案下的吸水剖面分

表1 文51-226井不同注水井段层系重组方案主要参数

注水方案	段内层数	渗透率突进系数	渗透率级差
笼统注水	26~39	13.4~17.1	5.8~9.6
2段分注	18~20	8~12	3~6
3段分注	5~7	3.2~4.5	2.7~3.2

布可知,随着注水井分段数的增加,Ⅱ类和Ⅲ类层相对吸水量逐步增加,吸水剖面变得越来越均匀(图3)。因此依据预测方案,对文51-226井先后进行2段和3段分注现场实验,实际资料显示,该井Ⅱ类和Ⅲ类层得到有效启动,预测剖面与实际吸水剖面误差较小。

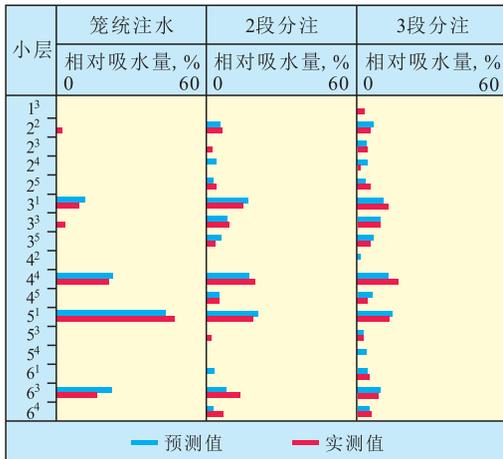


图3 文51-226井沙二段下亚段不同分注方案吸水剖面预测值与实测值对比

3.4 应用效果

2008年12月以来,文51块油藏利用吸水剖面预测模型进行逐步层系优化组合,至2013年12月已先后调整分注23井次,年产油量稳步提升,累积增油量为 1.2×10^4 t,综合含水率下降了4.7%,综合递减率、自然递减率大幅度减缓,采收率稳步提升(图4),开发效果得到了明显改善。现场应用表明,利用吸水剖面预测模型对文51块油藏各井组注水井吸水剖面进行预测,提高了分层注水的有效性,达

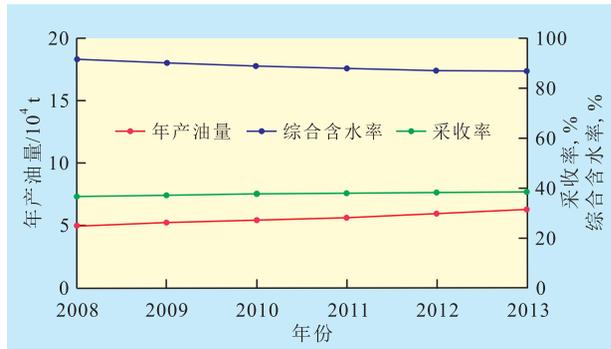


图4 文51块油藏生产曲线

到了层系优化组合的目的。

4 结束语

利用自适应模糊神经网络系统并结合历年吸水剖面资料所建立的吸水剖面预测模型,不仅可以较准确地预测不同分层注水条件下注水井的吸水剖面,还可以量化指导注水井的分层注水优化组合。在注水井层系优化组合时,层间渗透率级差应控制在8以内,注水层段控制在3段以内。在现场实际应用中,对于特高含水期层间非均质性强,Ⅱ类和Ⅲ类层动用程度低的油藏,通过吸水剖面预测模型进行层系优化组合,可有效动用该油藏的Ⅱ类和Ⅲ类层,提高油藏采收率并改善开发效果。

参考文献:

- [1] 客伟利,李建明,胡明毅.濮城油田沙二下储层划分与对比研究[J].江汉石油学院学报,2004,26(6):207-209.
- [2] 罗水亮,曾流芳,李林祥,等.多油层复杂断块油藏开发层系细分研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2010,32(6):98-101.
- [3] 张建民,赵永忠,徐晶,等.吸水剖面综合解释方法及应用[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,36(S2):143-147.
- [4] 郭文敏,刘玉忠,刘同敬.利用吸水剖面进行储层参数解释方法研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2011,33(6):61-63.
- [5] 梁艳春.群智能优化算法理论与应用[M].北京:科学出版社,2009:87-113.
- [6] 马良,项培军.蚂蚁算法在组合优化中的应用[J].管理科学学报,2001,32(2):32-36.
- [7] 徐凤银.储层定量评价中指标权重的计算途径[J].石油学报,1996,17(2):29-34.
- [8] 吴晓莉,林哲辉.MATLAB辅助模糊系统设计[M].西安:西安电子科技大学出版社,2002:125-170.
- [9] 刘超,马奎前,陈剑,等.旅大油田非均质性定量表征及开发调整[J].油气地质与采收率,2012,19(5):88-90,103.
- [10] 冯其红,王守磊,白军伟,等.层间非均质油藏提液效果数值模拟[J].油气地质与采收率,2013,20(3):49-52.
- [11] 崔传智,姜华,段杰宏,等.基于层间均衡驱替的分层注水井层间合理配注方法[J].油气地质与采收率,2012,19(5):94-96.

编辑 王星