

二类油层注聚区水驱采油井高效压裂选井方法研究

周睿

大庆油田井下作业分公司压裂大队

摘要：针对大庆油田二类油层注聚区水驱采油井剩余油层厚度小，继续挖潜困难的开采矛盾，研究利用 AHP、灰色关联法和随机森林法对 64 口水平井进行了综合评价，采用 AHP 法进行优化的 7 口压裂井，其平均产油量为 1132.1t，与 AHP 法，灰色关联法和现场经验法进行优化后，其产油量分别增加了 19.7%，10.6%，4.1%。为其它水驱高效压裂井的选择提供了参考和指导。

关键词：二类油层；水驱井网；采油井；高效压裂；选井方法

针对当前大庆油田第二类油层注聚区水平范围和纵向油层组合规模不断扩大，原水驱井网协同封堵后剩余油层厚度小，继续挖潜困难的开采矛盾，通过精细定量个性化选井选层进行封堵后压裂为其它注聚水驱封堵后压裂区块的选择提供参考与指导，具有一定的推广价值。

1 注水井体积压裂改善水驱机理

针对特低渗油藏天然裂缝多向发育，水驱效果差的问题，以合理匹配缝网、降含水、促见效为目标，由控缝向引缝、利用缝的理念转变，通过注水井体积压裂重构渗流场，改善水驱。

1.1 人工裂缝代替天然裂缝

通过压裂改造，人工裂缝沿其中一条天然裂缝方向延伸。再进行注水措施后，注入水主要沿这条裂缝驱替，使人工缝两侧油井驱替受效，动态表现为液量、液面上升，产能提高；另一裂缝上油井含水下降。储层体积压裂后，天然裂缝对油气渗流的作用退居次要地位，而人工裂缝作用更显突出。如图 1 所示。

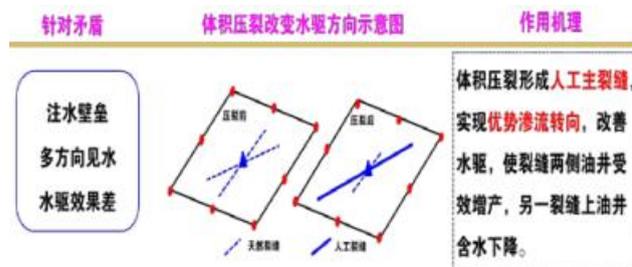


图 1 注水井体积压裂改变水驱方向示意图

1.2 体积压裂增大缝宽

针对特低渗油藏单砂体连通性差、有效驱替难建立、注水不见效等矛盾，开展油水井体积

压裂形成规模裂缝带，增加裂缝长度及宽度，扩大缝控体积，缩短水驱半径，从而增大渗流面积及导流能力，达到提高最终采收率的目的。如图 2 所示。

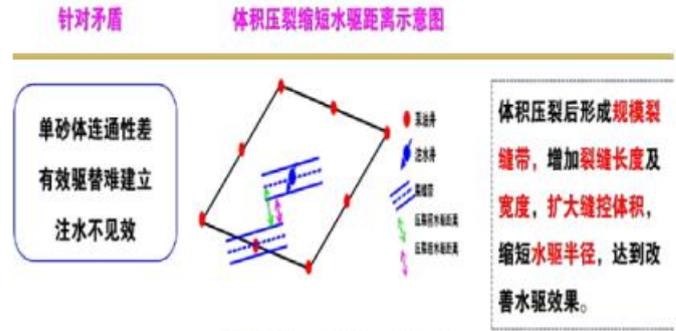


图 2 注水井体积压裂缩短水驱半径示意图

2 二类油层注聚区水驱井网采油井高效压裂选井方法

在大庆油田第二类储层注聚区，选择了水驱井网下的 64 口水平井，分别测得了孔隙度、渗透率和泊松比；弹性模数，油层钻遇厚度，一类油层钻遇厚度，三类油层钻遇厚度，含油饱和度，段间距；团簇间距，总液量，总砂量；排量、储层压力等 14 个特征变量，以及产量（90 天累计产油量）目标变量，这些变量的统计特性见表 1。

表 1X 油田二类油层注聚区水驱井网采油井压裂选井考虑因素统计特征

特征参数	均值	最小值	最大值	方差
孔隙度 (%)	10.72	8.48	14.12	1.22
渗透率 ($10^{-3} \mu m^2$)	2.32	0.73	5.18	1.06
泊松比	0.235	0.153	0.273	0.002
弹性模量 (GPa)	39.66	34.06	47.59	7.98
油层钻遇厚度 (m)	1135.78	691.59	1917.02	67897.23
I 类油层钻遇厚度 (m)	275.65	41.89	636.48	16999.38
III 类油层钻遇厚度 (m)	202.62	31.39	723.52	13426.15
含油饱和度 (%)	56.52	47.58	68.25	6.82
段间距 (m)	69.93	36.01	165.02	429.92
簇间距 (m)	33.85	18.02	82.02	79.82
总液量 (m^3)	21289.59	9298.61	34186.79	26816825.14
总砂量 (m^3)	1181.66	540.02	1915.02	94969.75
排量 ($m^3 \cdot min^{-1}$)	8.58	7.01	10.01	0.45

储层压力 (MPa)	61.43	54.82	67.06	14.69
90d 累计产油量 (t)	2633.56	446.03	4318.89	869466.65

2.1 层次分析法计算权重

根据 AHP 的原则，确定了每一层的评价指标和综合评价指标的权重。针对某一问题，提出了一种基于模糊聚类分析的模糊聚类分析方法，并给出了模糊聚类分析方法。含油饱和度的权重均稍大于油层钻遇厚度，与 1—9 比例标度方法相结合，将含油饱和度与油层钻遇厚度的比例标度为 3，同样也可将其它判断矩阵要素确定出来^[2]。参照灰色关联法与随机森林所构建的判断矩阵均通过了一致性测试：四阶判断矩阵 (A1) 与含油物性 (A2) 的 CR 分别为 0.0138 与 0.091，五阶判断矩阵 (A3) 的 CR 分别为 0.0027，四阶压裂选井两两判断矩阵 CR 分别为 0.0135，均达到了一致性测试要求。

2.2 灰色关联法计算权重

将候选井数据根据式 $x_{ik} = \frac{r_{ik} - (r_i)_{\min}}{(r_i)_{\max} - (r_i)_{\min}}$ 和式 $x_{ik} = 1 - \frac{r_{ik} - (r_i)_{\min}}{(r_i)_{\max} - (r_i)_{\min}}$ 进行预处理，得到模糊

关系矩阵。依据式 $r(y_k, x_{ik}) = \frac{(|y_k - x_{ik}|)_{\min} + 0.5(|y_k - x_{ik}|)_{\max}}{|y_k - x_{ik}| + 0.5(|y_k - x_{ik}|)_{\max}}$ 和式 $r(Y, X_i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N r(y_k, x_{ik})$ 计算特

征参数间的灰色关联度如图 3 所示。

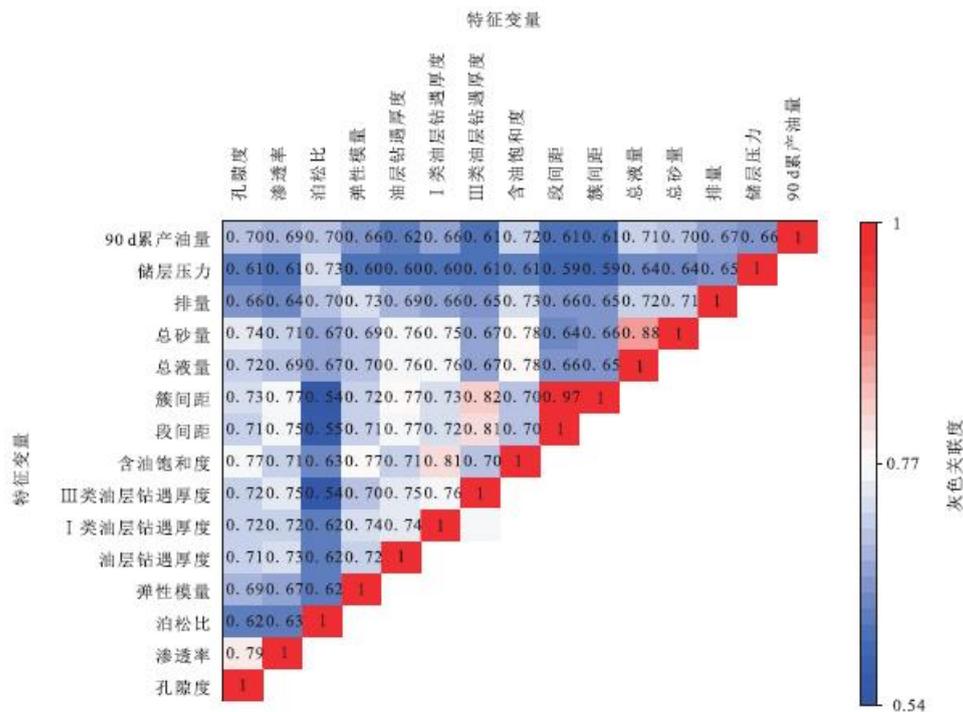


图 3 压裂选井影响因素灰色关联度矩阵

2.3 随机森林法

以 Python 的 scikit-learn 工具包为基础，构建随机森林模型，将 64 口井的地层特征、含油物性、压裂施工及储层压力等 14 个参数作为输入变量，将 90d 累计产油量作为目标变量，将决策树数量设置为 500，采用五折交叉验证模型性能得分为 0.79。用随机森林方法对实际产量进行了预测，得到的散点图 R^2 为 0.95。如图 4 所示。随机森林模型在图 5 中显示了不同的特性的重要程度。通过随机森林的重要程度得分，确定了各因素的权重。

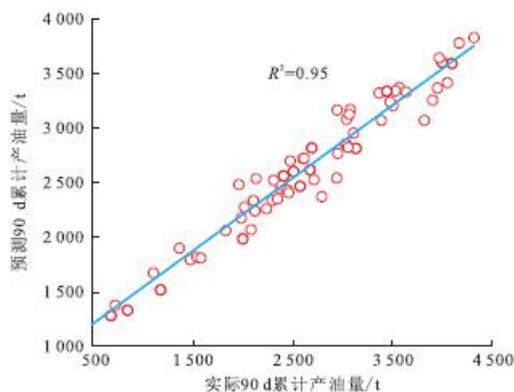


图 4 随机森林预测产量与实际产量的对比

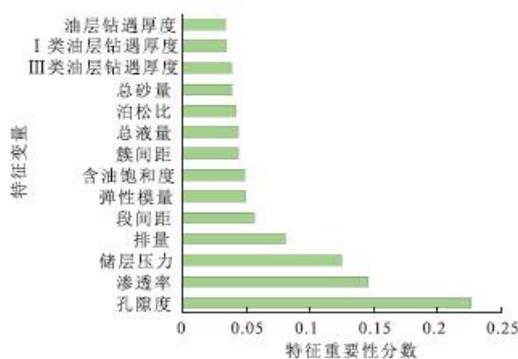


图 5 特征变量对产量的重要性

3 压裂选井的模糊综合评价

利用 AHP、灰色关联法和随机森林法对 64 口井进行了综合评价，并对 64 口井进行了综合评价，并对 3 种方法的评价结果进行归一化加权平均，得出了最终的模糊综合评判结果及排序，如图 6 所示。在图 6 中，综合衡量指标最高的 7 口井依次为 53,12,15;21,25,22,32，建议优先压裂。表 2 是采用 AHP、灰色关联法、现场经验得出的模糊综合评价结果，由表 2 可知，采用 AHP 法进行优化的 7 口压裂井，其平均产油量为 1132.1t，与 AHP 法，灰色关联法和现场经验法进行优化后，其产油量分别增加了 19.7%,10.6%,4.1%。本项目所研究的组合选井方法，可以应用于二类储层注聚区域的水驱网络中的压裂选井，与传统的现场经验选井等单一选井方法相比，具有更加客观、科学和符合实际的特点，并具有较强的适用性^[3]。

表 2 组合方法与层次分析法、灰色关联法、现场经验对比

选井方法	推荐候选井号	推荐候选井平均产量/t
层次分析法	12、53、21、25、42、32、24	1133.2
灰色关联法	12、53、42、33、33、22、55	1241.2
现场经验	23、12、42、26、52、11、21	1227.7
组合方法	53、12、15、21、25、22、32	1332.2

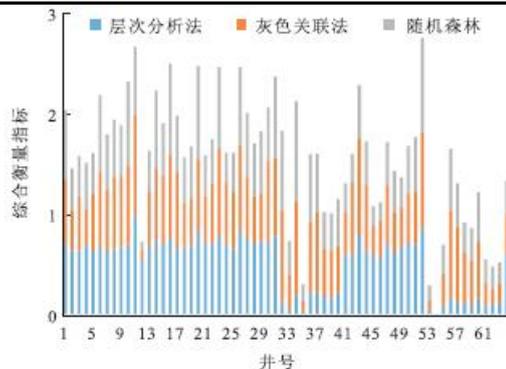


图 6 压裂选井组合方法的模糊评价结果

4 结论

将 AHP 法、灰色关联法、随机森林法、模糊综合评价法等相结合，对二类储层注聚区水驱井网开采的压裂选井作业进行定量分析，形成一套可操作性强、科学合理的压裂选井组合法，为该油田的压裂选井工作奠定基础。

参考文献

- [1]蒋文超.基于机器学习与模型融合的大庆油田 SN 区块油井压裂效果预测技术[J].大庆石油地质与开发,2023,42(1):64-72.
- [2]王永昌.大庆二类油层注聚区水驱井网采油井压裂渗吸增产表面活性剂研制及性能评价[J].大庆石油地质与开发,2023,42(1):108-114.
- [3]陈浩,张超,徐程浩,等.基于支持向量机的致密油藏水平井体积压裂初期产能预测[J].中国海上油气,2022,34(1):102-109.
- [4]赵超峰,张伟,田建涛,等.基于微地震监测技术的油田开发方案调整及效果——以辽河探区 J2 块为例[J].地球物理学进展,2022,37(1):320-327.
- [5]唐鹏飞,刘宇,齐士龙,等.大尺寸致密砂岩露头水力压裂物理模拟实验[J].断块油气田,

作者简介：周睿（1986.12.23-），男，汉，黑龙江省巴彦县，工程师，黑龙江八一农垦大学，大学本科，目前主要从事压裂方向工作。