

# The Choosing Decision Technique Study of Injector Well for Profile Control Based on Geology and Production Data

Yamin Qi<sup>1</sup>, Jingang Ding<sup>2</sup>, Haili Zhang<sup>2</sup>, Jin Zhou<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engineering Technology Management Department of Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Fourth Oil Extraction Plant of Changqing Oilfield Company, PetroChina, Jingbian Shaanxi

<sup>3</sup>Eighth Oil Extraction Plant of Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an Shaanxi

Email: 281866981@qq.com

Received: Oct. 30<sup>th</sup>, 2018; accepted: Nov. 28<sup>th</sup>, 2018; published: Dec. 15<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The methods of the well choice and profile control mainly concluded PI decision and RE decision. On the whole, the comprehensive utilization of the static and dynamic data of the two technologies was not comprehensive enough to reflect the heterogeneity of the internal and static parameters within the wellblocks. In consideration of the characters of well choice and profile control, all kinds of heterogeneous indexes were quantified by means of the calculation method of breakthrough coefficient, the vertical heterogeneity, areal heterogeneity, thickness and oil production, water production, watercut were determined as the factors of decision, a grey related multifactor decision was used as an evaluation method for a multi-factor well choice and profile control. The field application results show that the decision factors are fully considered in the method, the application result is reasonable, the method can be used for further promoting the technique of well choice and profile control, it provides powerful technical support for improving the development of the oilfield and enhancing oil recovery.

## Keywords

Profile Control, Heterogeneity, Fray Related Correlation, Decision Technique

---

# 基于静、动态参数的多因素调剖选井决策技术研究

齐亚民<sup>1</sup>, 丁金岗<sup>2</sup>, 张海利<sup>2</sup>, 周进<sup>3</sup>

<sup>1</sup>中石油长庆油田分公司工程技术管理部, 陕西 西安

<sup>2</sup>中石油长庆油田分公司第四采油厂, 陕西 靖边

<sup>3</sup>中石油长庆油田分公司第八采油厂, 陕西 西安

作者简介: 齐亚民(1980-), 男, 硕士, 工程师, 现从事油田开发方面的工作。

Email: 281866981@qq.com

收稿日期: 2018年10月30日; 录用日期: 2018年11月28日; 发布日期: 2018年12月15日

## 摘要

调剖选井方法主要有PI决策和RE决策两大技术, 整体上看两种技术对于目前油水井动、静态资料的综合利用不够全面, 不能反映井组内部动、静态参数非均质的影响。针对目前调剖选井技术特点, 利用突进系数计算方法量化各种非均质指标, 建立了以井组纵向非均质性、平面非均质性和厚度等静态资料以及产油、产水、含水率等动态非均质参数为评价决策因子, 以灰色关联多因素决策为评价方法的多因素调剖选井决策技术。现场应用表明, 该方法考虑决策因素全面, 评价决策选井结果合理, 方法的建立进一步完善了现场调剖选井决策技术, 为改善油田开发效果, 提高采收率提供有力的技术支持。

## 关键词

调剖, 非均质性, 灰色关联, 决策技术

Copyright © 2018 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

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



Open Access

## 1. 引言

相对中高渗储层, 特低渗储层受地应力及孔隙、孔喉影响, 纵向、平面非均质的表现更强。长庆油田某区块为典型的特低渗油藏, 加上压裂改造及自身微裂缝发育影响, 地下非均质表现极为突出。为改善特低渗储层开发效果, 通常采用水井调剖方式来降低水窜程度, 从而提高注水波及系数。目前调剖选井方法主要有PI决策和RE决策两大类型[1] [2] [3] [4], 整体上两种技术对于目前油水井动、静态资料的综合利用不够全面, 不能系统反映动、静态参数非均质程度对于选井决策的影响[5] [6] [7]。为此以长庆油田某区块为例, 从储层静态非均质和油水井动态非均质角度, 开展基于静、动态参数的多因素调剖选井决策技术研究, 为进一步完善现场调剖选井决策技术, 改善油田开发效果, 提高采收率提供技术支持。

## 2. 调剖选井定量化决策指标

### 2.1. 非均质性表征方法

$$T_k = \frac{K_{\max}}{\bar{K}}$$

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

式中： $T_k$ 为突进系数，1； $K_{\max}$ 为渗透率最大值，mD； $\bar{K}$ 为渗透率平均值，mD； $K_i, h_i$ 分别为第*i*位置的渗透率及权重系数。

### 2.2. 静态非均质决策因子

1) 注水厚度决策：由于储层非均质及重力作用影响，注水井生产层位厚度越大，则吸水剖面不均匀可能性也越大，即需要调剖的可能性越大，可见注水厚度属于越大越优型。

2) 注水井纵向非均质决策：在注水开发过程中，注入水沿高渗层指进，造成水洗不均，渗透率差别越大，水洗的不均匀程度就越高，需要调剖的可能性也越大，该指标属于越大越优型。

3) 平面非均质渗透率：从注水井组内部平面非均质来看，平面非均质程度越强，则该井组需要调剖的可能性越大，该指标属于越大越优型。

### 2.3. 井组油井动态非均质决策指标

1) 油井产水量突进系数：注水井组内一线油井米产水、米累计产水突进系数大小反映了注采井间水窜程度的大小，可见油井米产水、米累计产水突进系数属于越大越优型。

2) 油井产液量突进系数：注水井组内一线油井米产液、米累计产液突进系数大小反映了油水井间连通性的强弱，可见油井米产液、米累计产液突进系数属于越大越优型。

3) 含水率突进系数：注水井组内一线油井含水率突进系数反映了注水井水窜方向及水窜程度，突进系数越大说明局部水窜情况越严重，可见含水率突进系数属于越大越优型。

### 2.4. 井组油井综合决策指标

1) 米累计产油量：注水井组米累计产油量反映井组产油量的相对多少，对于相同井网形式的注采井组，米累计产油量越大，说明地下剩余油越少，潜力越小，可见该指标属于越小越优型。

2) 综合含水率：注水井组由于平面矛盾的必然存在，综合含水率越高，则该井组需要调剖的可能性也越大，可见该指标属于越大越优型。

## 3. 灰色关联多因素决策技术

调剖选井决策受油藏动、静态各种资料的影响，各种因素影响程度不同，且各因素间的关系不完全清楚，所以调剖选井是一个信息不完全的灰色系统。灰色关联分析是邓聚龙教授创建的重要理论，其实质是比较数据到曲线几何形状的接近程度[8][9]。

### 3.1. 确定分析序列

在对所研究问题目标分析的基础上，确定一个因变量和多个自变量因素。设因变量数据构成参考序列，自变量数据构成比较序列，分别记为：

$$x_0 \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}$$

$$x_i \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

式中： $x_0$ 为参考序列； $x_i$ 为比较序列； $n$ 为序列长度； $m$ 为比较序列个数。

### 3.2. 初始序列数据预处理

由于系统中各因素的物理意义不同，导致原始变量序列数据量纲不同和数量级差悬殊。因此需要对原始数据进行无量纲化、归一化处理，消除其影响。

1) 越大越优型指标，其效用函数的计算为：

$$b_{ik} = \frac{r_{ik} - (r_{ik})_{\min}}{(r_{ik})_{\max} - (r_{ik})_{\min}}$$

2) 越小越优型指标，其效用函数的计算为：

$$b_{ik} = 1 - \frac{r_{ik} - (r_{ik})_{\min}}{(r_{ik})_{\max} - (r_{ik})_{\min}}$$

由此得到函数矩阵  $R$ ：

$$R = |b_{ik}|_{(m+1) \times n}$$

式中： $r_{ik}$ 为数据变量集合； $(r_{ik})_{\min}$ 、 $(r_{ik})_{\max}$ 分别为数据变量集合中的最小值和最大值。

### 3.3. 求差序列、最大差和最小差

差序列是计算每个点上参考序列和比较序列差的绝对值  $\Delta_{0i}(k)$ ，即：

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$$

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$$

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$$

式中： $x_0(k)$ 为目标参数原始数据第  $k$  列最大值，最终形成由各列最大值组成的最佳组合  $x_0$  序列。 $x_i(k)$ 为比较序列。

### 3.4. 计算关联系数矩阵

关联系数表示第  $i$  个比较序列与参考序列在  $k$  时刻的关联程度，其表达式为：

$$\xi_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta_{\max}}$$

式中： $\xi_{0i}(k)$ 为关联系数； $\rho$ 为分辨系数，分辨系数的作用在于提高关联系数间的差异显著性， $\rho$ 越小，分辨力越大， $\rho$ 的取值区间为[0, 1]，一般取 0.5。

### 3.5. 计算权重值

$$W(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_{0i}(k)$$

### 3.6. 求关联度

计算关联度时, 采用符合实际情况的非平权处理法, 即:

$$\gamma_i = \sum_{k=1}^n \xi_i(k)W(k)$$

式中:  $\gamma_i, W(k)$  分别为灰色关联度值和各因素权重系数。

## 4. 现场应用及效果预测

### 4.1. 区块概况

长庆油田某区块长 4 + 5 储层可分为长 4 + 5<sub>1</sub><sup>1</sup>、长 4 + 5<sub>1</sub><sup>2</sup>、长 4 + 5<sub>2</sub> 三个小层, 其中长 4 + 5<sub>1</sub><sup>1</sup>、长 4 + 5<sub>1</sub><sup>2</sup> 层为主产层, 平均有效厚度 18.9 m, 岩心分析孔隙度 14.5%, 渗透率 1.22 mD, 电测平均孔隙度 13.6%, 平均渗透率 5.23 mD, 属特低渗透储层。自 2006 年 8 月第一口井投入开发, 截止到 2011 年 4 月, 综合含水率达到 71.3%, 井组内部矛盾加剧, 有待进一步调整。

### 4.2. 调剖选井结果

利用灰色关联分析法, 对该区块 31 个注水井组进行多因素评价决策, 计算各口井关联度如表 1 所示。关联度大于平均值 0.5 的共有 13 口井, 结合现场井组位置, 确定首轮 10 口调剖井 42-52 井、42-56 井、44-50 井、44-52 井、44-54 井、46-52 井、46-54 井、48-52 井、48-58 井、50-52 井。

**Table 1.** The result of multi-factor evaluation decision of the wellblock  
**表 1.** 井组多因素评价决策结果表

排序	井组名	关联度	排序	井组名	关联度	排序	井组名	关联度
1	44-52	0.664521	11	40-56	0.528636	21	50-56	0.473166
2	46-52	0.622397	12	48-52	0.526735	22	52-52	0.461142
3	42-56	0.594967	13	44-50	0.520686	23	42-58	0.459147
4	42-54	0.580363	14	48-54	0.487982	24	40-58	0.454636
5	44-54	0.564699	15	46-56	0.485011	25	157	0.454411
6	42-52	0.559153	16	46-50	0.484064	26	48-56	0.451585
7	42-50	0.548050	17	40-54	0.479116	27	42-48	0.438800
8	46-54	0.542801	18	44-56	0.477594	28	40-52	0.424885
9	48-58	0.536724	19	50-54	0.476768	29	40-60	0.422677
10	50-52	0.531489	20	52-54	0.474942	30	40-50	0.420450
						31	48-50	0.409122

### 4.3. 调剖效果预测

利用 3DSL 软件聚合物调驱模块进行区块整体调剖参数优化及调剖效果预测。研究不同地下成胶黏度下, 不同调剖半径[10]时, 单位黏度累计增产油量, 结果如图 1 所示。

从调剖参数理论优化及现场参数优化的效果预测对比来看: ① 随着地下黏度的增大, 调剖效果逐步变好, 并且效果越发明显; ② 调剖等效半径为 20 m 时, 地下成胶黏度不低于 60 mPa·s; ③ 地下成胶黏度为 100 mPa·s 时, 单位黏度增加累计产油量最大, 对应调剖半径不低于 40 m 为最优, 且调剖深度越大, 增油效果越好。

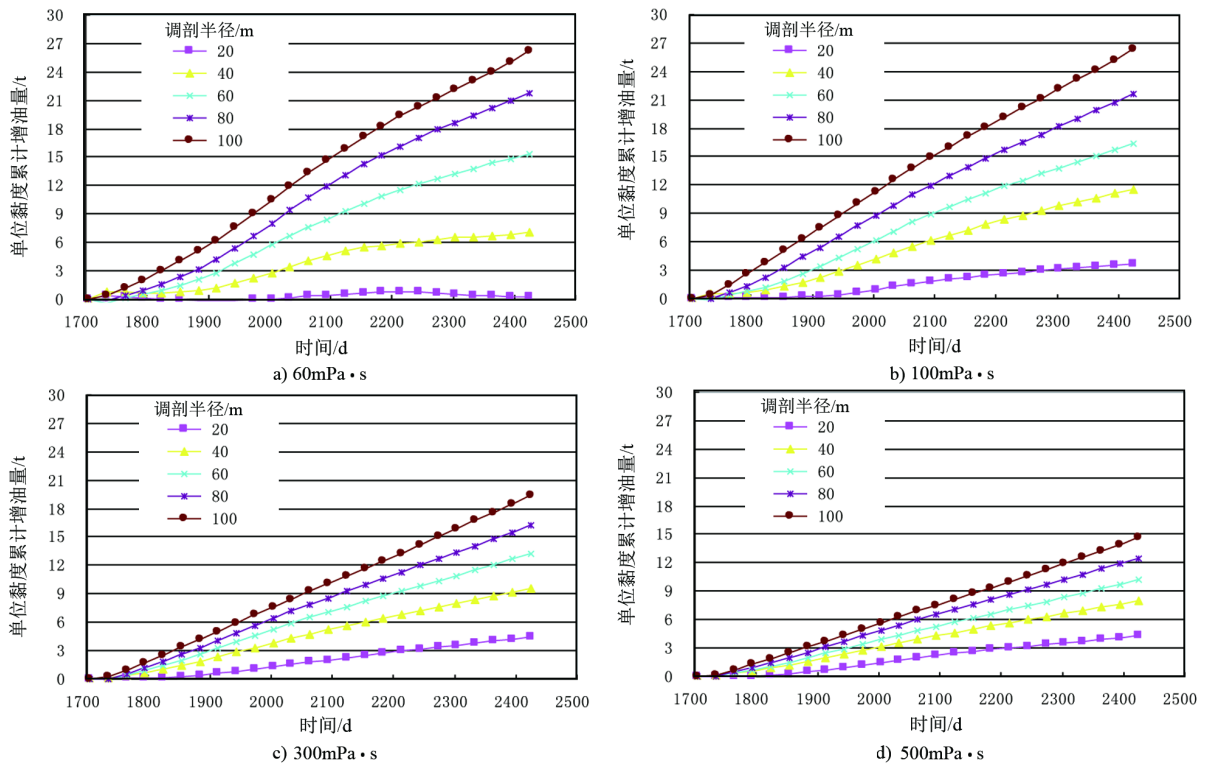


Figure 1. The variation of cumulative oil increment per unit viscosity under different viscosity and profile control radius  
 图 1. 不同黏度情况下各调剖半径对应的单位黏度累计增油量随时间的变化

#### 4.4. 调剖前后液量分配变化

10 口注水井调剖前后各口井液量分配情况如图 2、图 3 所示。以调剖半径为 60 m，地面成胶黏度为 100 mPa·s 的条件进行调剖，调剖后注水井原液量分配较高的井分配比例开始降低，同时液量开始向原不进行液量分配的油井分配。由此可见，通过调剖改善了储层纵向、平面上的非均质性，并提高了采收率。

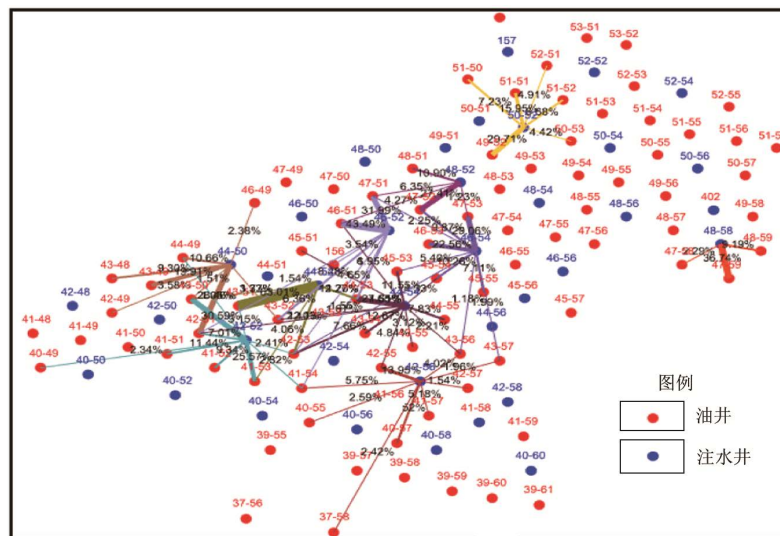


Figure 2. The fluid volume distribution of before profile control  
 图 2. 调剖前调剖液量分配图



**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2471-7185，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)