

# 基于灰色关联的产量递减因素分析

黄帅<sup>1,2</sup>, 彭彩珍<sup>1</sup>

(1.西南石油大学石油与天然气工程学院 四川 成都 610500; 2.中国石化江苏油田物资供应处, 江苏 扬州, 225009)

**摘要:** 递减率是评价油藏开发效果的一个重要指标, 通过分析影响产量递减的主要因素, 制定相应的调整措施对油田开发来说具有非常重大的意义。利用JS油田部分开发单元的静态和动态资料, 结合灰色关联方法分析研究了递减率与各影响因素之间的关系, 最终确定了各影响因素的权重并对各因素的影响程度进行了排序分析。针对不同因素的影响程度, 可以为减缓递减制定针对性的措施及开发技术提供决策参考。

**关键词:** 递减率; 油田开发; 灰色关联; 权重

**中图分类号:** TE323      **文献标识码:** A

## Study on production decline factors based on gray correlation

Huang Shuai<sup>1,2</sup> and Peng Caizhen<sup>1</sup>

(1. School of Petroleum and Natural Gas Engineering, Southwest University of Petroleum, Chengdu, Sichuan 610500, China;

2. Material Supply Department of Jiangsu Oilfield, SINOPEC, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

**Abstract:** The production decline rate is an important indicator in evaluating the oil field development. It is of great significance for the development of oil fields to make the corresponding adjustment measures by analyzing the main factors that affect the production decline. The relation between the decline rate and the influencing factors for the development units of JS oilfield was studied by the grey correlation analysis method and based on the static and dynamic data. The weight of each factor was determined and the influence factors were sorted. According to the degree of influence for different factors, it can provide the reference for the development measures and development techniques.

**Key words:** decline rate, oilfield development, gray correlation, weight

目前,我国陆上的多数油田已经进入高含水阶段,产量总体呈现下降的趋势。目前就递减率研究而言,主要集中在递减率数值的计算、递减类型的确定、利用递减规律进行产量预测等方面<sup>[1-7]</sup>,在总结油田产量递减规律基础上分析影响产量递减因素的研究相对较少。利用JS油田部分开发单元的静态和动态资料,借助灰色关联分析方法对所建立的模型中所表达的影响递减的因素进行模糊数学分析,在此基础上得到了递减率与各影响因素的关联度排序,最终为分清影响产量递减的主次矛盾,提出相应措施减缓产量递减提供决策依据。

## 1 产量递减影响因素分析

影响油田或者单井产量变化特征的因素包括油藏地质因素和人为控制因素,其中地质因素是指反映油藏本身实际特征的参数,而人为控制因素是指在油田开过程中对油藏采取的人为性措施,包括开发井网密度、开发方式等。

根据递减率的定义,可以得出如下公式:

$$D = \frac{Q_{i-1} - Q_i}{Q_{i-1}} = 1 - \frac{v_i}{v_{i-1}} \quad (1)$$

收稿日期:2018-03-02。

第一作者简介:黄帅(1995—),男,在读硕士研究生,油气田开发。

式中:  $D$  为递减率,  $f$ ;  $Q_{i-1}$  为第  $i-1$  年(月)产油量,  $t$ ;  $Q_i$  为第  $i$  年(月)产量, 吨;  $v_{i-1}$  为第  $i-1$  年(月)采油速度, %;  $v_i$  为第  $i$  年(月)采油速度, %。

由式(1)看出, 产量递减率受到前一年(月)和当年(月)采油速度的制约。前一年(月)采油速度愈大, 则产量递减愈大, 反之则小, 而当(月)年采油速度愈高, 则产量递减愈小。

由此可见, 地质因素决定了油藏本身的开发潜力, 也决定了人为控制因素的最大作用。一个自身开发潜力较小的油藏, 无论采取何种改善开发效果的措施, 其开采效果也是非常有限的。当然, 在开发的过程中, 可能采取了一些改善油藏本身地质条件的措施(如进行酸化压裂以改善油藏的整体流通性等), 这些措施可能改变了油藏本身的地质条件, 因而可以增加油藏本身的开发潜力。影响注水开发油田水驱效果的人为控制因素主要应包括开发层系、井网密度、注水时间、注水方式等。

针对上述情况, 在研究中优选了几个参数, 包括地质储量丰度、单储系数、流度、单储压降、可动油饱和度、注水时采出程度、递减初期采出程度、递减初期采油速度、递减初期含水率等。

## 2 灰色关联分析

灰色关联分析法<sup>[8-10]</sup>是一种动态发展态势的量化描述和比较方法, 它把研究对象看成是一个灰色系统, 以各影响因素的样本数据为依据, 用关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序。基本思想是根据参考序列与比较序列曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密, 相似程度越接近, 序列关联度就越大, 反之则越小。优点是能在数据量较少的情况下依系统的离乱时序找寻系统演变的规律, 从而更好地确定主要影响因素。缺点是只反映各比较序列与参考序列曲线形状相似程度, 没有涉及比较序列之间的交叉传递作用, 因此该方法筛选的关联参数并不是绝对的, 灰色关联分析一般包括以下五个步骤。

### 1) 确定分析序列

在对研究问题目标分析的基础上, 确定一个预测指标和多个关联参数。设预测指标数据构成参考序列  $Y_0$ , 关联参数数据构成比较序列  $Y_i$ , 分别表示为:

$$Y_0 = (Y_0(1), Y_0(2), \dots, Y_0(n)) \quad (2)$$

$$Y_i = (Y_i(1), Y_i(2), \dots, Y_i(n)) \quad (3)$$

式中:  $n$  为序列长度;  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $m$  为比较序列个数。

### 2) 初始序列的无量纲化

由于系统中各因素的物理意义不同, 导致原始变量序列具有不同的量纲或数量级, 为了保证各因素具有等级性和等权性, 需要对其进行正向化和无量纲化, 常用的无量纲化方法有初值法、均值法以及归一法等。各方法无量纲化模型如下:

初值法:

$$X_j(k) = \frac{Y_j(k)}{Y_1(k)} \quad (4)$$

均值法:

$$X_j(k) = \frac{Y_j(k)}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n Y_j(k)} \quad (5)$$

归一法:

$$X_j(k) = \frac{Y_j(k) - \text{Min}(Y_j)}{\text{Max}(Y_j) - \text{Min}(Y_j)} \quad (6)$$

式中:  $j = 0, 1, 2, \dots, m$ ;  $K = 1, 2, \dots, n$ ;  $X_j(k) = 1, 2, \dots, n$  无量纲化后的比较序列。

### 3) 计算关联系数

$$\xi_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta_{\max}} \quad (7)$$

$$\Delta_{0i}(k) = |X_0(k) - X_i(k)| \quad (8)$$

式中:  $\xi_{0i}(k)$  为第  $i$  个比较序列与参考序列在  $k$  时刻的关联系数;  $\Delta_{0i}(k)$  为第  $i$  个比较序列与参考序列在  $k$  时刻的绝对差;  $\Delta_{\min}$ 、 $\Delta_{\max}$  分别为各个时刻绝对差中的最小值和最大值;  $\rho$  为分辨系数, 介于 0、1 之间, 一般取 0.5。分辨系数的作用在于提高关联系数间的差异显著性。

### 4) 计算关联度

由于关联系数数目较多, 信息分散, 不便比较, 对关联系数求平均, 可得关联度:

$$r_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{0i}(k) \quad (9)$$

式中:  $r_{0i}$  为第  $i$  个比较序列与参考序列的关联度。

关联度受参考序列、比较序列、参考点、序列长度和分辨系数的影响, 数值一般在 0~1。

### 5) 关联参数排序

表1 JS油田部分单元基础数据  
Table 1 Basic data of some units of JS Oilfield

月递减率, f	储量丰度/ ( $10^4 \text{t} \cdot \text{km}^{-2}$ )	单储系数/ ( $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ )	流度/ ( $10^{-3} \mu\text{m}^2 \cdot (\text{mPa} \cdot \text{s})^{-1}$ )	单储压降/ MPa	注水时采 出程度, %	递减初期采 油速度, %	递减初期采 出程度, %	递减初期单元 含水率, %
0.016 5	123.5	14.4	3.5	1.9	4.8	2.47	12.7	71.7
0.032 1	141.7	10.9	8.1	2.37	0.5	1.09	4	37
0.014 7	128.6	9.8	2.8	2	3.7	0.86	2.9	29.9
0.018 4	107.5	8.3	31	4.17	2.3	3.05	7.9	22.9
0.026 8	200.9	11.2	130.7	9.64	1	1.92	13.4	63.7
0.016 1	680	12.9	3.3	0.1	0	2.45	14.2	52.1
0.033 4	185.6	11.8	30	0.54	13.1	2.12	8.9	55.8
0.019	591.4	13	36	0.27	22.7	3.16	14.4	41.7
0.010 8	132.9	8.5	8.8	2.67	2.3	1.49	14	57.9
0.019 5	79.6	5.7	3.7	10.63	0.9	1.23	5.2	23.9

根据关联度的大小,将关联参数排序。关联度很小的关联参数可以剔除,重复①~⑤步,直至筛选出比较合理的主要关联参数。

灰关联度反映了各主要关联参数与预测指标的接近程度。灰关联度越大,说明该参数的变化趋势与预测指标的变化趋势越相似,对预测指标的影响也越大。

灰色关联分析中,单个关联度本身大小的实际意义并不大,重要的是关联度的大小排列顺序,以此反映各比较数列对于参考数列的“优劣”关系。灰关联度越大,说明该比较数列的变化趋势与参考数列的变化趋势越相似,或对参考数列的影响越大。

### 3 实例分析

JS油田通过多年的注水开发,目前已经进入产量递减阶段。该油田覆盖了一百多个开发单元,这些单元在天然能量、储层物性、流体性质、开发政策和部署,需要分析不同单元开发效果的主要影响因素,这对于那些新投入开发的单元来说,具有重要的参考意义。借助灰色关联对影响不同开发单元产量递减的地质因素和人为控制因素进行分析,这里选择了十个单元,各单元月递减数据及各因素对应的参数数值如表1所示。

以递减率为参考序列,其它各参数为比较数列,将逆向指标正向化处理,并利用均值法无量纲化,求得各比较序列在k时刻与参考序列的绝对差,并判断

出  $\Delta_{\max}$  为 0.965 2,  $\Delta_{\min}$  为 0.007 8,取分辨系数为 0.5,由式(7)计算出各个比较序列的关联系数,再由式(9)计算出各影响因素的关联度。其余序列与递减率序列的灰色关联度分别为 0.579 4、0.621 0、0.663 5、0.665 3、0.649 0、0.559 1、0.554 8、0.633 5。

从上述计算结果可知,产量递减的各影响因素与递减率的关联度从大到小依次为:单储压降>流度>注水时采出程度>递减初期单元含水率>单储系数>储量丰度>递减初期采油速度>递减初期采出程度。其中单储压降、流度这两个因素的影响最大,单储压降越小表示开发单元的天然能量越充足,越有利于注水开发;流度越小表示地下原油在储层中的流动能力越强。当然,其它因素对产量的递减也有一定的影响,在实际分析的时候,应该综合考虑各个因素的作用。表1中的十个开发单元大致可以分为以下几类:①单储压降小、流度小、储层物性较好的单元:这一类单元由于天然能量充足,油井能够及时得到能量补充,递减之前采出程度较高,进入递减以后产量下降相对比较缓慢,如单元1、单元6、单元9。尽管单元8的流度稍微偏大了一些,但是由于天然能量充足,储层物性较好,开发效果也不错;②单储压降小、储层物性相对较差的单元:这一类单元油井不能及时补充能量,开发效果相对较差,如单元2和单元3,这两个单元投入开发以后很快就进入了递减阶段。单元7的流体性质相对较差,同时注水相对较晚,影响了稳产期,目前产量递减也比较快;③单储压降较大、流度相对较大、储层物性较好的单元:这

(下转第41页)