

## 定量评价调剖效果的新方法

宋刚祥, 喻高明, 韩 鑫, 简 洁, 卢 艳

(长江大学石油工程学院, 湖北武汉 430100)

**摘要:**因为常规方法只能定性分析调剖措施的见效情况,所以为了定量描述注水井调剖改善吸水剖面的效果,提出了3种定量评价调剖效果的新方法,即采用注水井调剖变异系数、吸水剖面均质系数和注水井调剖前后劳伦兹曲线的不均匀系数来定量刻画调剖措施改善吸水剖面的均质程度。利用上述3种方法,对北三台油田多口注水井的吸水剖面资料进行了计算,取得了较好的应用效果。应用定量评价指标,可以直观看出注水井调剖后吸水剖面非均质性的改善程度,准确获知调剖措施的见效信息。该方法实用方便,可操作性强,能够满足现场应用的要求。

**关键词:**注水开发 调剖 定量描述 劳伦兹曲线 吸水剖面

**中图分类号:**TE357.6    **文献标识码:**A    **文章编号:**1001-0890(2012)06-0096-03

## New Methods of Quantitatively Evaluate Effect of Profile Control

Song Gangxiang, Yu Gaoming, Han Xin, Jian Jie, Lu Yan

(Petroleum Engineering College, Yangtze University, Wuhan, Hubei, 430100, China)

**Abstract:** To quantitatively describe the effect of injection profile control of wells, we presented three new methods, which could be used to quantitatively evaluate heterogeneous degree of profile control measures, through defining coefficient of variation of profile control wells, homogeneous coefficient of injection profile, uneven coefficient of the Lorenz curve before and after profile control. Results calculated from those methods are reasonable in the application in Beisantai Oilfield. We can directly see the improvement degree of heterogeneity of water injection profile after profile control, and accurately learn about the effective information of profile control measures from the quantitative evaluation indexes. This proved that the method is practical and convenient, and can meet the requirement of field application. So it demonstrated that the method using formula and Lorenz curve to quantitatively evaluate profile effect is feasible and instructive for profile control in water injection wells.

**Key words:** water flooding; profile control; quantitative description; Lorenz curve; injection profile

对于注水开发的油田,由于油层的非均质性,大量注入水沿高渗透层(或高渗透条带)突进,致使注入井的吸水剖面不均匀,且其不均匀性随注水时间的推移而加剧。调剖能有效改善注水井的吸水剖面,增大后续驱油体系的波及系数,提高剩余油动用程度<sup>[1-2]</sup>。吸水剖面的改善主要表现在2个方面:一是主要吸水层与差油层间相对吸水量差异变小;二是差油层吸水层数明显增加。调剖前吸水差异越大,调剖后吸水剖面的改善程度越明显。理论上讲,随着吸水层的增多和吸水厚度的增大,吸水剖面的不均匀程度会得到一定程度的改善,但是仅靠常规

方法无法对这一结论进行判断,更无法对其做出定量评价。为此,在前人研究的基础上,笔者对常规图形分析调剖效果的方法进行了改进,提出了新的定量描述调剖措施效果的方法,并给出了判断调剖效果的公式,弥补了以前定性判断调剖效果存在的缺陷。

收稿日期:2011-12-08;改回日期:2012-08-30。

作者简介:宋刚祥(1987—),男,湖北仙桃人,2010年毕业于长江大学石油工程专业,在读硕士研究生,主要从事油藏工程和数值模拟研究。

联系方式:18062795860,632539896@qq.com。

## 1 定量评价新方法

为了表征渗透率非均质程度,引入渗透率变异系数和渗透率均质系数来定量评价调剖效果。仿照定量描述渗透率非均质程度的方法,来计算注水井调剖前后的单位厚度吸水分数的变异系数和吸水剖面均质系数。

### 1.1 变异系数法

变异系数是一种数理统计的概念,用于度量统计若干数值相对于其平均值的分散程度<sup>[3-4]</sup>。计算公式为:

$$V_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}{n}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中:  $V_k$  为注水井调剖单位厚度吸水分数的变异系数;  $K_i$  为单位厚度吸水分数;  $\bar{K}$  为单位厚度平均吸水分数;  $n$  为射开小层层数。

变异系数越大,则非均质性越强。

### 1.2 吸水剖面均质系数法

吸水剖面均质系数为平均单位厚度吸水分数与最大单位厚度吸水分数的比值。计算公式为:

$$K_p = \frac{\bar{K}}{K_{\max}} \quad (2)$$

式中:  $K_p$  为吸水剖面均质系数;  $K_{\max}$  为最大单位厚度吸水分数。

$K_p$  的取值范围为 0~1,  $K_p$  越接近 1, 均质性越好。

### 1.3 用劳伦兹曲线分析调剖措施的见效情况

将劳伦兹曲线引入对注水井调剖效果的研究中,提出了一种分析注水井调剖改善吸水剖面均匀程度的新方法,并定义了定量刻画注水井调剖前后的不均匀系数。不均匀系数为 0~1。不均匀系数越小,非均质性越弱,注水井调剖的吸水剖面越均匀;反之,则越不均匀。

## 2 现场应用

北三台油田注水井 B1066 井于 1999 年 7 月 7 日采用常规方法进行了调剖,分析调剖措施的见效情况,得到调剖前后各小层的吸水分数如图 1 所示。

从图 1 可以看出,原来不吸水的小层调剖后开始吸水,原来吸水多的小层调剖后吸水减小,调剖后

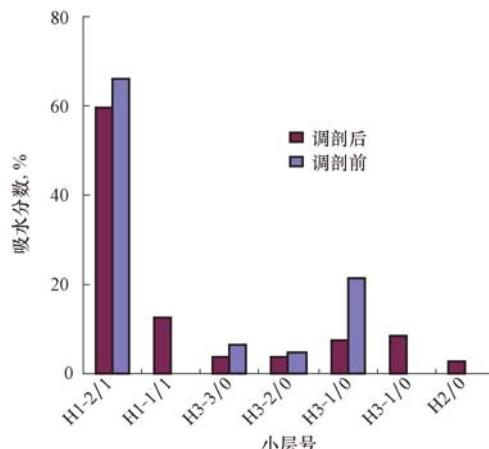


图 1 B1066 井调剖前后小层吸水分数

Fig. 1 The small layer absorbent percentage of Well B1066 before and after profile control

吸水均匀性明显变好。但只能定性判断注水井调剖后吸水剖面是否变均匀,无法进行定量评价。

利用新方法对北三台油田多口注水井的吸水剖面资料进行了计算,取得了较好的应用效果。下面以 B1066 井和 B2020 井为例,介绍该新方法在调剖过程中的应用情况。

根据式(1)、(2),利用调剖前后各小层的射开厚度及对应的吸水分数资料,计算出北三台油田 B1066 井和 B2020 井调剖前后单位厚度吸水分数的变异系数和吸水剖面均质系数。

图 2 为北三台油田 B1066 井调剖前后的劳伦兹曲线。图中弧线与斜对角线的包络面积愈大,表示吸水剖面的非均质性愈严重。对比调剖前后 2 条曲线可以看出,调剖后该井吸水剖面的不均匀程度得到改善,相比调剖前,不均匀系数减小<sup>[8-9]</sup>。调剖前 40% 的高渗层吸水量占 90% 左右,调剖后降至 70% 左右,未动用厚度也从 40% 左右降至 0,说明注

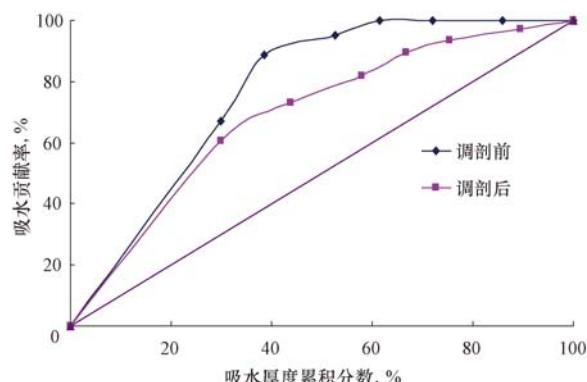


图 2 B1066 井调剖前后的吸水劳伦兹曲线

Fig. 2 Water absorption Lorenz curve of Well B1066 before and after profile control

水井调剖措施取得了效果。

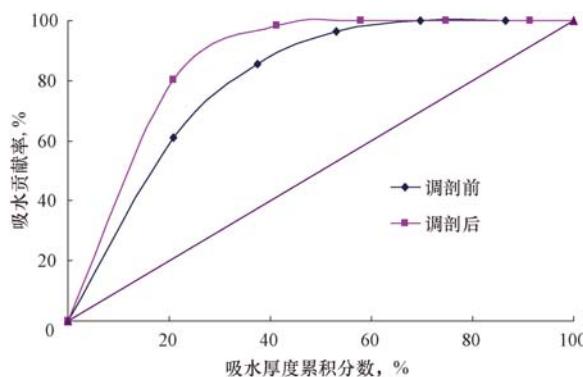
表 1 为 B1066 井调剖前后的具体评价指标。从表 1 可以看出,各评价指标均有好转,说明了 B1066 井经调剖后改善了非均质性,各层的单位厚度吸水分数更接近,说明调剖措施取得了效果。

**表 1 B1066 井调剖前后评价指标对比**

**Table 1 The evaluation index comparison of Well B1066 before and after profile control**

阶段	调剖变异系数	吸水剖面均质系数	劳伦兹曲线不均匀系数
调剖前	1.224	0.330	0.539
调剖后	0.735	0.380	0.372

图 3 为 B2020 水井调剖前后的劳伦兹曲线。从图 3 可以看出,调剖后该井吸水剖面的不均匀程度加重,与调剖前相比,不均匀系数变大,不吸水厚度也增大。



**图 3 B2020 井调剖前后的吸水劳伦兹曲线**

**Fig. 3 Water absorption Lorenz curve of Well B2020 before and after profile control**

表 2 为 B2020 井调剖前后的具体评价指标。表 2 说明,B2020 水井调剖后的吸水剖面变得不均匀,其非均质性改善不明显,各层的单位厚度吸水分数差距加大,说明调剖未取得预期效果。

**表 2 B2020 井调剖前后评价指标对比**

**Table 2 The evaluation index comparison of Well B2020 before and after profile control**

阶段	调剖变异系数	吸水剖面均质系数	劳伦兹曲线不均匀系数
调剖前	1.161	0.316	0.603
调剖后	1.592	0.234	0.726

## 4 结论与认识

1) 建立了利用注水井调剖措施前后测试资料进行定量描述调剖效果的方法。该方法比常规方法分析调剖效果具有较大优越性,弥补了定性判断调剖效果的不足,实现了定量评价的目的,实用方便,可操作性强,能够满足现场应用的要求。

2) 用劳伦兹曲线分析调剖效果,不仅可以直观地看到调剖的是否见效,还能定量描述调剖效果的好坏,对有吸水剖面测井资料的注水井调剖工作有一定的指导意义。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 刘沛玲. 措施优选实现井组控水稳油[J]. 断块油气田, 2009, 16(3):82-84.  
Liu Peiling. Implementation of stable production and water cut control for well group by optimizing measures[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2009, 16(3):82-84.
- [2] 由庆,于海洋,王业飞,等. 国内油田深部调剖技术的研究进展[J]. 断块油气田, 2009, 16(4):68-71.  
You Qing, Yu Haiyang, Wang Yefei, et al. Technologies of in-depth profile control in China[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2009, 16(4):68-71.
- [3] 孙宝京. 滨海油田水井调剖效果的数理统计分析[J]. 中外能源, 2008, 13(4):61-63.  
Sun Baojing. Statistical analysis on effect of profile control for water injection well in Shengli offshore oilfield[J]. Sino-Global Energy, 2008, 13(4):61-63.
- [4] 冯其红. 注水井调剖效果预测统计方法研究[J]. 石油钻采工艺, 2003, 25(6):63-65.  
Feng Qihong. Study of statistical method for result prediction of profile control[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2003, 25(6):63-65.
- [5] 汪超,喻高明,李云鹏. 胡七北块油藏产液剖面和吸水剖面研究[J]. 小型油气藏, 2004, 9(3):28-31.  
Wang Chao, Yu Gaoming, Li Yunpeng. The study of production profile and water injection profile for Hu Seven North Block[J]. Small Hydrocarbon Reservoirs, 2004, 9(3):28-31.
- [6] 汪超,申春霞. 油藏产液剖面和吸水剖面分析研究[J]. 新疆石油科技, 2005, 15(1):12-13.  
Wang Chao, Shen Chunxia. The study of reservoir production profile and water injection profile[J]. Xinjiang Petroleum Science & Technology, 2005, 15(1):12-13.