

文章编号:1001-6112(2000)02-0180-04

小层剩余油的技术经济研究方法

谢丛姣¹, 艾敬旭², 黎锡瑜²

(1. 中国地质大学 资源学院 石油系, 湖北 武汉 430074; 2. 河南石油管理局 开发处, 河南 南阳 473132)

摘要:研究小层剩余油的传统方法是根据静、动态资料确定目前剩余油的饱和度并分配到小层,从而从宏观上确定整个油区的剩余油挖潜区。文中应用盈亏平衡的原理,从技术经济的角度对剩余油饱和度低的低效油井进行了微观分析,由此进一步指出剩余油分布的范围和层位,这同样可为油田开发决策提供依据。

关键词:开发决策;经济评价;盈亏平衡;剩余油

中图分类号:TE322

文献标识码:A

研究小层剩余油的分布是油田开发分析的主要内容,也是油田开发后期急待解决的问题。研究剩余油的方法很多,如经济评价法、地质综合分析法、测井解释法、精细油藏数值模拟法和油藏工程法等。本文以某油田为例,以经济评价的结果为点,以静、动态结合建立数学模型的油藏工程法的结果为面,全方位地提供了一套研究小层剩余油的方法,为油田后期开发提供了新思路。

1 用测井解释技术研究小层剩余油

利用测井可以解释小层剩余油饱和度和含水率的时空变化规律,基本思路^[1]为:由生产井的综合含水率 f_w 找出该井各小层的产水率 $(f_w)_i$;利用产水率公式(1)求出对应小层的油水相对渗透率比值 $(k_{ro}/k_{rw})_i$,并求出与此相对应的小层含水饱和度 $(S_w)_i$,再利用公式(2)就可得到小层剩余油饱和度 $(S_o)_i$ 。

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{k_{ro} u_w}{k_{rw} u_o}} \quad (1)$$

$$(S_o)_i = 1 - (S_w)_i \quad (2)$$

由综合含水率 f_w 求出该井各小层的产水率 $(f_w)_i$ 和由小层油水相对渗透率比值 $(k_{ro}/k_{rw})_i$ 求出小层含水饱和度 $(S_w)_i$,最后可通过由测试资料

建立的相应测井解释图版来获取,具体思路为:

$$f_w \xrightarrow{\text{图版 1}} (f_w)_i \xrightarrow{\text{公式(1)}} \left(\frac{k_{ro}}{k_{rw}}\right)_i \xrightarrow{\text{图版 2}} (S_w)_i \xrightarrow{\text{公式(2)}} (S_o)_i$$

问题的关键在于建立高精度的图版 1 和图版 2。由于 $(f_w)_i$ 与 k/k_i 是负相关的,即:

$$(f_w)_i = a + bk/k_i \quad (a > 0, b < 0) \quad (3)$$

其中: k 为各小层对有效厚度的加权平均值, k_i 为该小层的渗透率。 a 、 b 的求取可通过 a 、 b 与 f_w 的散点图经回归获得,如本例中 a 、 b 值为二次多项式。

$$(f_w)_i = -1.53 + 6.67f_w - 4.19f_w^2 + (1.53 - 6.5f_w + 3.7f_w^2)k/k_i \quad (4)$$

(4)式即为图版 1。因此只要知道某井某一时刻的综合产水率 f_w 、该井各小层的 k_i 以及小层内砂体的有效厚度,就可求出第 i 小层的产水率值 $(f_w)_i$ 。

图版 2 的理论依据是陈元千等人的经验公式^[2]:

$$\frac{k_{ro}}{k_{rw}} = a \frac{(B - S_w)^b}{(S_w - C)^d} \quad (5)$$

其中: $a = \frac{gh}{k} (1 + S_{wi} - S_{or})^{(d-b)}$, $B = 1 - S_{or}$, $C = S_{wi}$, S_{or} 为残余油饱和度, S_{wi} 为束缚水饱和度,对于每一条相渗曲线, S_{or} 、 S_{wi} 均为常量, B 、 C 也为常

收稿日期:1999-07-30;修订日期:2000-03-01.

基金项目:国家自然科学基金项目(49972048).

作者简介:谢丛姣(1966-),女(汉族),湖北汉川人,硕士,从事油田开发方面的工作.

表1 成本参数表
Table 1 Parameters of the cost

| 固定成本(F) | 数量/10 ⁴ 元 | 可变成本(V) | 数量 |
|---------|----------------------|-------------------|---------|
| 材料费 | 0.38 | 动力费 | 13元/t |
| 燃料费 | 0.43 | 注水费 | 20元/t |
| 工资及附加费 | 1.06 | 油气处理费 | 4元/t |
| 井下作业费 | 6.58 | 总计 | 37元/t |
| 测井试井费 | 0.69 | 原油影子价格(P) | 1034元/t |
| 修理费 | 0.02 | 原油商品率(α) | 95% |
| 总计 | 9.16 | 综合税率(β) | 16% |

数, a, b, d 则为待定系数。 a, b, d 的求取同样通过线性回归, 在高相关系数下求得。本例中图版2的数学方程为式(6):

$$\lg(k_{ro}/k_{rw}) = 1.25 + 2.84\lg(0.87 - S_w) - 1.45(S_w - 0.64) \quad (6)$$

用式(6)可以求出某一小层的 $(S_{wi})_i$, 再由式(2)可得出该层的剩余油饱和度 $(S_o)_i$ 。

2 用经济评价方法确定低效井

低效井是指那些收不抵支的井。从技术经济上制定单井亏损界限标准, 找出低效井分布的层位, 确定剩余油分布范围, 提高油田开发整体经济效益, 可为优化单井产量、优化油藏管理提供一种经济评价手段。根据盈亏平衡原理, 如果单井日产油量为 Q_0 , 每吨原油售价为 P , 原油商品率为 α , 则每口油井的年收入为:

$$S = Q_0 \times t \times \alpha \times P \quad (7)$$

式中: S ——单井年收入, 元;

Q_0 ——单井日产油量, t/d;

t ——油井年生产天数, d;

α ——原油商品率, 小数;

P ——原油价格, 元/t。

平均单井需上交国家的税金为:

$$G = S \times \beta + Q_0 \times t \times k \quad (8)$$

式中: G ——平均单井年税金, 元;

β ——综合税率, 小数;

k ——资源税和储量占用费, 元/t。

单井年操作费为:

$$C = F + Q_0 \times t \times v / (1 - f_w) \quad (9)$$

式中: C ——单井操作费, 元;

F ——单井平均年固定成本, 元;

v ——吨液可变成本, 元/t;

f_w ——油井含水率, 小数。

根据盈亏平衡的原理, 单井年净收入等于单井年费用。即:

$$Q_0 \times P \times \alpha \times t(1 - \beta) - Q_0 \times t \times k = F + Q_0 \times t \times v / (1 - f_w) \quad (10)$$

整理变形后可得到每口油井的盈亏平衡产量。当其它参数已知时, 可得出产量与含水率的关系, 该公式即为油井极限经济产量表达式^[3]:

$$Q_0 = F / [P \times \alpha \times t(1 - \beta) - t \times k - t \times v / (1 - f_w)] \quad (11)$$

如果单井日产油量低于 Q_0 , 则油井的生产处于亏损状态。上述计算公式中有关参数的确定见表1。

将此参数带入公式(11), 可得出不同含水率对应的单井亏损产量界限, 这样即可绘出不同含水率条件下的单井经济极限产量界限图版(图1)。将经济

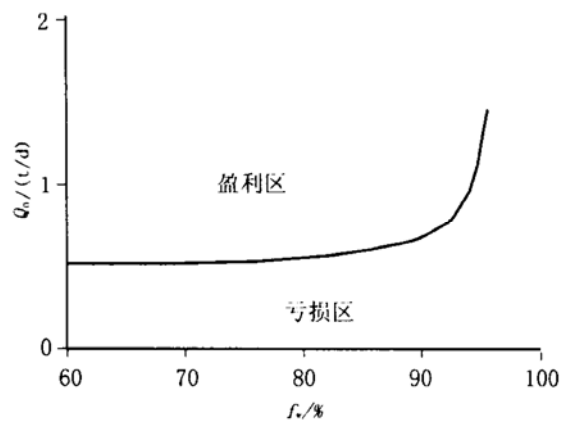


图1 单井经济极限产量界限图版

Fig. 1 Figure of the limits of ultimate economic yields for a well

表2 低效井经济评价结果表

Table 2 Economic evaluation of low-efficient wells

| 井号 | 天数 | 月产液 | 月产油 | 月产水 | 含水率 | 日产油 | 极限产量 | 产量差 | 评价结果 |
|--------|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|------|
| L5-9 | 24 | 118 | 6.2 | 111.8 | 0.947 | 0.258 | 2.043 | -1.785 | 特低效 |
| L21-5 | 25 | 273.3 | 17.2 | 256.1 | 0.937 | 0.688 | 2.043 | -1.355 | 特低效 |
| L30-12 | 23 | 141.3 | 10.3 | 131 | 0.927 | 0.448 | 1.285 | -0.737 | 低效 |
| L8-8 | 23 | 95 | 7.3 | 87.7 | 0.923 | 0.317 | 1.006 | -0.689 | 低效 |
| L51-6 | 31 | 183.7 | 14 | 169.7 | 0.924 | 0.452 | 1.158 | -0.706 | 低效 |
| L20-4 | 23 | 172.5 | 15 | 157.5 | 0.913 | 0.652 | 0.86 | -0.208 | 中低效 |
| L14-5 | 26 | 69 | 10.9 | 58.1 | 0.842 | 0.419 | 0.584 | -0.165 | 中低效 |
| L2-8 | 23 | 61.8 | 9.6 | 52.2 | 0.845 | 0.417 | 0.578 | -0.161 | 中低效 |
| L19-17 | 26 | 119.8 | 14.3 | 105.5 | 0.881 | 0.550 | 0.709 | -0.159 | 中低效 |
| L19-21 | 25 | 68.1 | 12.9 | 55.2 | 0.811 | 0.516 | 0.531 | -0.015 | 较低效 |
| L15-25 | 17 | 65.5 | 9.3 | 56.2 | 0.858 | 0.547 | 0.598 | -0.051 | 较低效 |
| L14-7 | 31 | 32.5 | 11.7 | 20.8 | 0.640 | 0.377 | 0.461 | -0.084 | 较低效 |

产量与单井经济极限产量的对比发现,有 12 口油井处于亏损开采状态,评价结果见表 2。经检验发现

通过由图版1、图版2求出的小层剩余油饱和

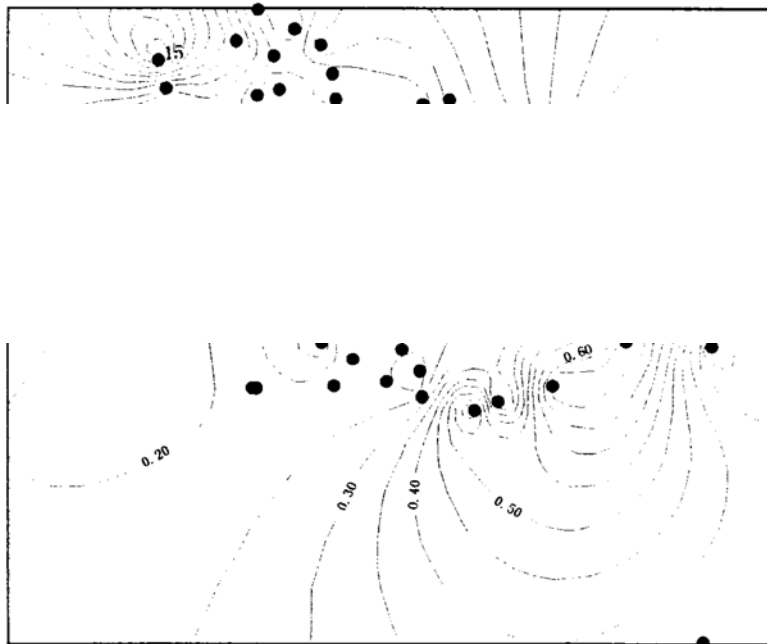


图2 某油田第4小层剩余油饱和度等值图

Fig.2 Contour diagram of residual oil saturability for the 4th minor layer of an oil field

度(S_o); 绘出某油田第4小层的等值线图(图2)。从图中可以看出,小层剩余油饱和度高值区分布在L21-5井一带,而L15-25以及L4-7、L4-5、L20-4井区为低值区。除特低效井L21-5井剩余油饱和度较高外,其它低效井均处于剩余油饱和度低值区,低效井总体分布在:①席状砂体发育部位,本身沉积相不利地带;②油水过渡带内;③注水效果比较差的地区,即注采井组不完善区和因造斜失败,油井高度集中区;④含水上升较快区。12口低效井中,L5-9井是由于高部位产气导致产量降低,L21-5井是由于该层严重水淹造成产油量下降,两种方法确定的剩余油区完全吻合。所不同的是,经济评价法只能从点上给出低效层位,测井解释则从平面上提供宏观低剩余油饱和度的区域,二者完美结合将给后期调整挖潜提供可靠依据。

4 结论

(1)经济评价方法能够快速简便地确定油井是否低效生产,对处于剩余油区的低效井应采取相应

的挖潜措施。

(2)测井解释技术可提供宏观低剩余油饱和度的区域^[4],技术经济方法可确定油井是否低效生产,二者有机结合可准确提供剩余油的层位和方位。

(3)沉积微相是否有利仍是控制剩余油分布的主要地质因素,注采系统的不完善、开采方式和现有井网的不合理是影响剩余油的人为因素^[5,6]。

参考文献:

- [1] 于洪文. 大庆油田北部地区剩余油研究[J]. 石油学报, 1993, 14(1): 72-80.
- [2] 陈元千. 实用油藏工程方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989. 50-55.
- [3] 石油天然气总公司. 石油工业建设项目经济评价方法与参数[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 93.
- [4] 李素娥. 王场油田潜四段剩余油饱和度分布规律研究[J], 石油勘探与开发, 1990, (5): 64-74.
- [5] Cooke C·E Jr. Method of determining residual oil saturation in reservoirs[P]. U S Patent3, 1994: 590-923.
- [6] Chang M M, Maerefat N L, Tomutsa L, et al. Evaluation and comparison of residual oil saturation determination techniques[J]. SPEFE, 1988, 3(1): 251-262.

AN APPROACH TO THE TECHNICAL ECONOMIC RESEARCH OF MINOR-LAYER RESIDUAL OIL

XIE Cong-jiao¹, AI Jing-xu², LI Xi-yu²

(1. Department of Petroleum, College of Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Development Branch, Henan Bureau of Petroleum Administration, Nanyang, Henan 473132, China)

Abstract: The conventional way to study minor-layer residual oil is to calculate the present saturability of residual oil according to the static and dynamic data and allocate it to the minor layers so as to determine the potential residual oil regions in the whole oil area macroscopically. In this paper, the principle of balance of profit and loss is applied to analyse the low-efficient oil wells with low residual oil saturability microscopically from the technical economic angle, and the range and horizon of distribution for residual oil is pointed out further. This also provides basis for the decision of oil field development.

Key words: decision of development; economic evaluation; balance of profit and loss; residual oil