

The New Method for Separating Layer Production in Oilfield Development Well Group

Jun Xie, Jiayi Yu, Zhongjin Zhang, Changdi Liu

Research Institute of Exploration and Development, Tuha Oilfield Company, PetroChina, Hami Xinjiang
Email: 601110879@qq.com

Received: Jun. 13th, 2017; accepted: Aug. 25th, 2017; published: Oct. 15th, 2017

Abstract

For multiplayer commingled producing oilfields with insufficient monitoring information, difficult dynamic analysis on separating layers, so based on injection and production balance of the well group, this paper proposed a method using the relationship curves of PV multiplier and water cut from the laboratory experiment and dimensionless index to analyze the reservoir producing condition. By taking the well group as a unified entirety, and the factors affecting injection wells and response wells (reservoir thickness, permeability, viscosity, in site stress direction, injection-production space, producing pressure drop, and stimulation measures) into account, the method calculates oil production of each separate layer by reasonably allocating the injected water of each layer based on the horizontal and vertical coefficient. The water absorbing volume and oil well liquid production by layer separation of 300 wells in X Oilfield calculated by this method are consistent with actual measurement results, it is proven that the method is reliable.

Keywords

Injection and Production Balance, PV Multiple and Water-Cut Curve, Dimensionless Index, Water Injection Rate, Liquid Production Rate, Split

油田开发井组产层分层动用新方法研究

谢 军, 于家义, 张中劲, 刘长地

中石油吐哈油田分公司勘探开发研究院, 新疆 哈密

作者简介: 谢军(1978-), 男, 工程师, 主要从事油田开发油藏工程方面的研究。

Email: 601110879@qq.com

收稿日期: 2017年6月13日; 录用日期: 2017年8月25日; 发布日期: 2017年10月15日

摘 要

针对开发井组监测资料不足、分层动态分析难度大等多层系合采油田, 提出以井组内注采平衡为依据, 利用岩心驱替实验所得PV倍数与含水率关系曲线、无因次指数进行井组产层动用情况的研究方法。该方法视井组为一个统一整体, 充分考虑了注水井与受效油井的影响因素(包括油层厚度、渗透率、原油黏度、地应力方向、注采井距、生产压差、改造措施等), 通过平面和垂向系数合理劈分注水井分层注水量, 计算油井各小层分层产量。运用该方法计算了X油田近300口水井分层吸水量和油井分层产液量, 与现场实测剖面结果相符, 表明该方法可靠。

关键词

注采平衡, PV倍数与含水率关系曲线, 无因次指数, 注水量, 产液量, 劈分

Copyright © 2017 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

油田进入高含水中后期开发阶段后, 注水井的层间矛盾和平面矛盾日益严重, 地下情况更加复杂, 只有充分认清油、水井分层动用情况, 才能采取切实可行的分层调整及挖潜措施, 从而提高油田的开发水平。因此, 提出了油、水井分层注水量和产液量研究。传统方法主要采用产吸剖面劈分法、KH值劈分法、井组注采平衡劈分法[1]-[6]及数模等。产吸剖面劈分法最为准确, 但是测试成本高; KH值劈分法仅在建产初期较为合适; 井组注采平衡劈分法仅可对分层产液进行劈分, 无法计算分层含水, 即计算的分层产液比和产水比相等, 分层含水等于单井含水。为此, 笔者提出了一种综合考虑油层条件和开发条件的油、水井分层动用状况研究方法。

2. 方法原理及步骤

笔者针对剖面测试资料较少井的油水井分层注水量和产液量劈分提出了以下方法:

1) 以水井为中心, 以见水、见效台帐及地应力方向为条件, 水井周围距离最近的2口油井和水井组成的三角形进行区域划分, 计算区域面积; 以上述3口井油层厚度的加权平均厚度作为容积的高度, 计

算容积体积。

2) 充分考虑井组开发条件(包括注采井距、产吸剖面、生产压差、改造措施等), 对水井平面方向的注水量系数进行确定, 把注水井注水量劈分到各个小层对应的油井平面: ① 利用实验测试的 PV 倍数与含水率的关系, 计算油井该方向的含水率; ② 相渗数据归一化的无因次指数结合含水率, 计算油井各个分层方向上的液量及油量; ③ 统计油井所有层位的总液量和总油量, 根据分层液量和油量计算油井分层产液系数及产油系数, 利用该系数计算油井的分层液量及油量, 利用井口含水率通过多元回归法对分层产液量和产油量进行校正。

3. 注水井分层注水量计算

3.1. 注水井分层系数的确定

采用渗流理论[7]对水井分层措施进行劈分来确定注水井分层注水系数, 主要考虑相关层的各种改造措施及地质静态因素, 其中以吸水剖面和一般性改造措施为主, 一般性改造措施后的小层劈分系数 C_j 拟合公式[8]为:

$$C_j = \frac{Y_j}{\sum_{j=1}^n Y_j} \quad (1)$$

$$Y_j = \frac{K_j H_j Z_j G_j K_{sh,j} N_j}{\ln(D_j)} \quad (2)$$

式中: Y_j 为小层劈分条件值; K_j 为渗透率; H_j 为有效厚度; Z_j 为连通系数; G_j 为层间干扰系数; $K_{sh,j}$ 为沉积微相影响因数; N_j 为水井对应的油井数; D_j 为油水井距; 下标 j 为小层序号。

当储层经过措施改造以后, 引入措施系数 R , 措施后的劈分系数 Y'_j 变为:

$$Y'_j = Y_j \times R \quad (3)$$

3.2. 注水井分层注水量计算

对有吸水剖面资料的注水井, 充分考虑静态因素以后, 直接利用吸水剖面资料计算注水井各小层的注水量:

$$W_j = Q_w \times R_j \quad (4)$$

式中: W_j 为注水井第 j 小层的日注水量, m^3 ; Q_w 为注水井全井日注水量, m^3 ; R_j 为注水井全井第 j 小层吸水比例(吸水剖面资料), 1。

没有吸水剖面资料的注水井, 在综合考虑水井的各小层静态因素(包括油层厚度、渗透率、原油黏度)及开发条件(包括注采井距、生产压差、改造措施)的基础上, 将注水井井口注水量劈分到注水井的各个小层:

$$W_j = Q_w \times Y'_j \quad (5)$$

4. 采油井分层产油量计算

4.1. PV 倍数的确定

以水井为中心, 以见水见效台帐及地应力方向为条件, 水井周围距离最近的 2 口油井和水井组成三

角形，按照逆时针或者顺时针方向进行区域划分，计算区域面积；以 2 口油井的油层厚度的加权平均厚度作为容积的高度，计算容积的体积；以油井和水井的加权孔隙度进行孔隙度计算；利用加权孔隙度和加权体积进行 PV (孔隙体积)的确定。其具体的计算过程如下。

$$l = \frac{1}{2}(L_1 + L_2 + L_3) \tag{6}$$

式中： l 为 A、B、C 这 3 口井距离之和的一半，m； L_1 为油井 B 和油井 C 的距离，m； L_2 为水井 A、油井 B 的距离，m； L_3 为水井 A、油井 C 的距离，m。

$$S = \sqrt{l(l-L_1)(l-L_2)(l-L_3)} \tag{7}$$

式中： S 为 A、B、C 这 3 口井构成的单元的面积， m^2 。

$$PV = Sh\phi \tag{8}$$

式中： PV 为 A、B、C 这 3 口井构成的单元孔隙体积， m^3 ； h 为容积高度(2 口油井的油层厚度的加权平均厚度)，m； ϕ 为孔隙度(2 口油井和水井的加权孔隙度)，1。

根据分层的注水量及分层 PV 进行 PV 倍数的计算：

$$m = \frac{W_j}{PV} \tag{9}$$

式中： m 为注水量与孔隙体积的倍数，1。

在反五点法注采井网中，水井 A、油井 B 和油井 C 如图 1 所示。

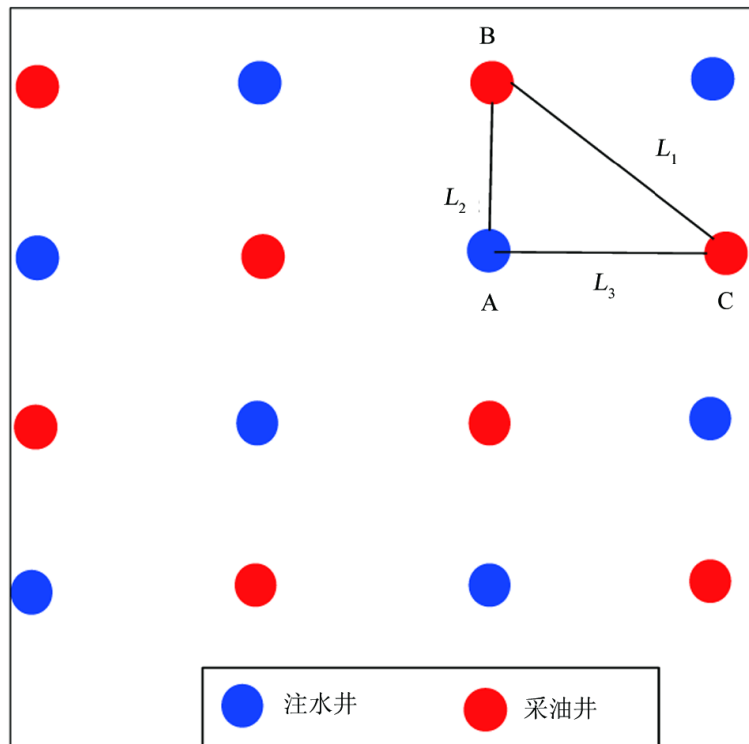


Figure 1. The sketch of injection-production unit
图 1. 注采单元示意图

4.2. 无因次采油指数计算公式的拟合

根据达西定律, 当油、水两相同时流过油藏内某一地层的横截面时, 水相占整个产液量的百分数为水的分流量或者含水率, 计算公式[9]为:

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{K_{ro}\mu_w}{K_{rw}\mu_o}} \quad (10)$$

$$\frac{K_{ro}}{K_{rw}} = ae^{-bS_w} \quad (11)$$

式中: f_w 为含水率, 1; K_{ro} 、 K_{rw} 分别为油相、水相相对渗透率, 1; μ_o 、 μ_w 分别为油、水相黏度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$; a 、 b 为无因次指数系数, 1; S_w 为含水饱和度, 1。

根据式(10)和式(11)可得:

$$f_w = \frac{1}{1 + \left(ae^{-bS_w} \right) \frac{\mu_w}{\mu_o}} \quad (12)$$

无因次采油指数计算公式为:

$$a_o(f_w) = \frac{K_w K_{ro}(S_w)}{K K_{ro,\max}} \quad (13)$$

式中: a_o 为无因次采油指数; K 为渗透率, μm^2 ; K_w 为水相渗透率, μm^2 ; $K_{ro,\max}$ 为油相相对渗透率最大值, 1。

若不考虑注水开发过程中绝对渗透率的变化, 则 $K = K_w$, 即:

$$a_o(f_w) = \frac{K_{ro}(S_w)}{K_{ro,\max}} \quad (14)$$

其无因次采液指数 a_l 的计算公式为:

$$a_l(f_w) = \frac{a_o(f_w)}{1 - f_w} \quad (15)$$

通过相渗数据, 利用二元回归法, 通过上述公式对 a_o 和 a_l 进行公式回归。

4.3. 采油井分层系数的确定

在分层注水量计算的基础上, 计算出注水井各小层在周围每口井方向上的注水量; 利用岩心驱替实验测得 PV 倍数与 f_w 的关系曲线, 结合分层 m 计算分层 f_w ; 根据 a_o 和 a_l 计算油井产油量和产水量; 然后以油井为中心, 将根据 a_o 和 a_l 计算的产油量和产液量叠加, 即得到油井分层的产油量和产液量; 再根据井组累积产油量和产液量计算分层的采油指数系数和采液指数系数:

$$J_o = \frac{\frac{J_{o,i} K_i h_i n_i}{\ln d_i}}{\sum \frac{J_{o,i} K_i h_i n_i}{\ln d_i}} \quad (16)$$

$$J_l = \frac{\frac{J_{l,i} K_i h_i n_i}{\ln d_i}}{\sum \frac{J_{l,i} K_i h_i n_i}{\ln d_i}} \quad (17)$$

式中： J_0 为无因次采油指数系数； J_1 为无因次采液指数系数； $J_{o,i}$ 为第*i*层无因次采油指数系数； $J_{l,i}$ 为第*i*层无因次采液指数系数； K_i 为第*i*的渗透率； h_i 为第*i*层的有效厚度； d_i 为油水井井距； n_i 为第*i*层的总油井数。

4.4. 采油井分层系数的确定

根据井口的产油量和产液量，利用分层系数对产油量和产液量进行劈分，利用井口的含水率通过多元回归求解的方式对分层产液量和产油量进行校正。

5. 实例分析

利用上述方法对 X 油田近 300 口油、水井进行分层注水量、产液量和产油量的计算，对比计算结果和测试结果(见表 1、表 2)表明，每口井各小层的分层注水量和分层产液量趋势基本一致。

Table 1. The contrast between the detected and calculated results of water well profiles

表 1. 水井剖面测试结果与计算结果对比

井号	层号	剖面测试		笔者方法计算	
		吸水比/%	吸水强度/($m^3 \cdot (d \cdot m)^{-1}$)	吸水比/%	吸水强度/($m^3 \cdot (d \cdot m)^{-1}$)
W1	1	35.4	1.07	35.2	1.06
	3	45.1	1.68	45.3	1.70
	4	17.2	1.22	17.2	1.21
W2	7	2.3	0.28	2.3	0.28
	4	12.6	1.30	12.7	1.31
	5	87.4	4.86	87.3	4.87
W3	4	67.1	3.22	66.5	3.12
	5	27.4	1.07	27.3	1.06
	6	5.5	1.06	6.2	1.21

Table 2. The contrast between the detected and calculated results of oil well profiles

表 2. 油井剖面测试结果与计算结果对比

井号	层号	剖面测试			笔者方法计算		
		产液量/($m^3 \cdot d^{-1}$)	产油量/($t \cdot d^{-1}$)	采液强度/($m^3 \cdot (d \cdot m)^{-1}$)	产液量/($m^3 \cdot d^{-1}$)	产油量/($t \cdot d^{-1}$)	采液强度/($m^3 \cdot (d \cdot m)^{-1}$)
H1	1	1.33	2.2	0.28	1.31	2.3	0.27
	3	12.95	14.5	1.14	13.05	15.0	1.14
	4	0.80	0.7	0.10	0.80	0.7	0.10
H2	7	6.30	5.1	0.46	6.50	4.9	0.46
	4	0.40	0.2	0.10	0.40	0.2	0.10
	5	0.90	0.3	0.18	0.90	0.3	0.18
H3	4	3.60	1.8	0.50	3.62	1.8	0.50
	5	0.60	2.5	4.17	0.59	2.5	4.17
	6	2.20	5.3	2.41	2.1	5.4	2.41

上述分析表明, 本文方法计算结果与实际情况符合程度比较高, 表明静态因素资料结合吸水剖面, 充分考虑地应力方向对平面劈分的影响, 利用 PV 倍数与含水率的关系, 采用无因次指数进行井组产层研究, 能够很好地解决小层数据劈分问题。

6. 结论及认识

笔者把油、水井作为一个统一的油水运动系统, 动静结合, 综合考虑注水井和其影响到的采油井的各种开采条件(包括油层厚度、渗透率、原油黏度、地应力方向、注采井距、生产压差、改造措施)等因素, 克服了过去常用方法计算劈分油、水井的分层注水量和产液量不准确的缺陷。通过现场实际资料验证, 本文方法符合率比较高。该方法可有效分析缺少监测资料井点的动用状况, 对分析小层剩余油潜力及制定分层改造措施方案有一定指导作用。

参考文献 (References)

- [1] 于洪文. 通过注水井分层注水量计算采油井分层产液(油)量的方法探讨[J]. 石油勘探与开发, 1990, 17(2): 47-55.
- [2] 涂兴万, 潘艇, 王淑玉, 等. 一种新的剩余油研究方法初探[J]. 断块油气田, 1998, 5(3): 43-46.
- [3] 钱得富, 宋考平, 章成识. 分层含水和压力预测的劈分解析法[J]. 大庆石油地质与开发, 1995, 3(2): 47-55.
- [4] 石油化学工业部石油勘探开发规划研究院油田开采室二组. 在面积注水方式下水动力学的计算方法(考虑到水驱油的非活塞性) [J]. 石油勘探与开发, 1975, 2(3): 24-46.
- [5] 洪承燮, 季华生, 王晓虹. 注采动态分析及定量配注方法研究仁[J]. 石油勘探与开发, 1992, 19(2): 56-62.
- [6] 洪文. 油层平面非均质分布形态对开采动态的影响研究[J]. 石油勘探与开发, 1992, 19(2): 49-55.
- [7] 杨延明, 苏建栋, 马培申. 水驱油田不同含水时期合理注水量讨论方法[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(3): 69-71.
- [8] 李君芝. 一种改进的分层产液(油)量劈分方法[J]. 吐哈油气, 2008, 13(1): 31-35.
- [9] 吴锡令. 生产测井[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.

[编辑] 龚丹

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