



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105626036 A

(43) 申请公布日 2016.06.01

(21) 申请号 201410641691.3

(22) 申请日 2014.11.07

(71) 申请人 中国石油化工股份有限公司

地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街  
22号

申请人 中国石油化工股份有限公司胜利油  
田分公司地质科学研究院

(72) 发明人 陈瑞 万海艳 陶德硕 刘伟伟  
唐从见 佟颖 张娣 贾元元

(74) 专利代理机构 济南日新专利代理事务所  
37224

代理人 刘亚宁

(51) Int. Cl.

E21B 47/00(2012.01)

E21B 47/003(2012.01)

权利要求书1页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

一种确定油藏合理产液量油藏工程计算方法

(57) 摘要

本发明公开了一种确定油藏合理产液量油藏工程计算方法,应用于油藏工程参数计算领域。所述确定油藏合理产液量油藏工程计算方法,包括下述步骤:(1)推导合理沉没度下井底流压计算方法;(2)基于注采平衡原理计算注水井合理注入压力;(3)计算油藏吸水能力和产液能力;(4)根据产能公式确定油藏合理产液量。该方法避免了传统动态分析只对部分单井进行局部调整的缺点,考虑了注采井工艺条件、地层吸水能力和产液能力、注采井网匹配特征等因素,明确了油藏合理产液能力规模。该计算方法所需要的油藏工程参数简单易取,计算简便,结果量化,可以为中高渗油藏明确合理产液能力提供指导。

1. 一种确定油藏合理产液量油藏工程计算方法,其特征在于:基于注采平衡系统原理,采用油藏工程方法计算油藏合理产液量包括下列步骤:

步骤一,计算油藏生产井合理最低井底流压;

步骤二,计算注水井合理注水压力;

步骤三,计算油藏吸水能力和产液能力;

步骤四,根据注采平衡原理和产能公式计算油藏合理产液量。

2. 根据权利要求1所述的一种确定油藏合理产液量的油藏工程计算方法,其特征在于,在该步骤一中,对于高含水油藏,合理沉没度取300~500m,充满系数取0.8以上,根据抽油泵泵口最低吸入压力和井筒混合液柱压力计算生产井合理最低井底流压。

3. 根据权利要求1所述的一种确定油藏合理产液量的油藏工程计算方法,其特征在于,在该步骤二中,根据油藏深度与油层破裂压力关系,计算注水井合理注水压力。

4. 根据权利要求1所述的一种确定油藏合理产液量的油藏工程计算方法,其特征在于,在该步骤三中,根据油藏动静态参数,计算油藏吸水能力和产液能力。

5. 根据权利要求1所述的一种确定油藏合理产液量的油藏工程计算方法,其特征在于,在该步骤四中,应用注采平衡系统原理,综合步骤一、步骤二和步骤三中的计算结果,根据产能公式,计算油藏合理产液量,即实现了本发明所要求的用油藏工程计算方法确定油藏合理产液量。

## 一种确定油藏合理产液量油藏工程计算方法

### 技术领域：

[0001] 本发明涉及石油勘探与开发技术领域，特别是涉及确定油藏合理产液量的计算方法。

### 背景技术：

[0002] 目前，中高渗砂岩油田经过几十年的开发，大部分主体开发单元已处于特高含水开发后期，多数油井都维持在低产油水平运行。虽然单井效益不高，但巨大的储量规模和开井数，其产量仍然比较可观。如何提高中高渗砂岩油藏的产油量，延缓油藏综合递减，对于稳定此类油藏产量具有十分重要的意义。理论研究表明，高含水油井的含水上升速度缓慢，高产液量可以提高油井的产油能力。但实际的矿场资料显示，无论是水驱油藏，还是化学驱油藏，中高渗砂岩油藏开发后期液量呈下降趋势。而同类型油藏不同采液速度单元采出程度效果对比显示，产液量越大，高含水阶段的采出程度越大。针对近年来在油田采取的部分注采结构调整措施可以看出，效果并不理想，因此，目前要想进行合理的产液结构调整，必须首先要研究确定出单井和区块的合理采液速度或合理采液量，再根据目前实际的采液量与合理的采液量进行比较，分析原因、找出差距，并对整个区块进行整体调整，只有这样，才能切实提高区块储量动用程度及采出程度。中高渗特高含水期开发单元内部油井日产液水平差异大、产液结构不平衡是造成主体开发单元产能低、含水高的主要原因之一。因此确定油藏合理产液量规模是目前油田矿场急需解决的问题。目前实现油藏工程合理产液量主要分为三类：(1) 油藏工程方法；(2) 数值模拟方法；(3) 经验方法。数值模拟方法实现要求参数多，程序复杂，难度大，时间长，而经验方法不够可靠，目前的油藏工程方法又存在许多问题，主要表现在：(1) 合理井底流压计算方法不够精确；(2) 没有考虑注采系统整体性；(3) 没有考虑井网匹配程度。

### 发明内容：

[0003] 本发明的目的是提供一种确定油藏合理产液量油藏工程计算方法。利用油藏工程计算方法确定油藏合理产液量，包括下列步骤：

[0004] 步骤一：计算油藏生产井合理最低井底流压

[0005] 根据公式

$$P_{wf} = P_p + 0.01 \times \gamma_{\text{混合物}} \times (D_{\text{中}} - D_{\text{挂}} + h_{\text{合理}})$$

[0007] 确定生产井合理最低井底流压；

[0008] 其中，

$$P_p = \frac{R_s}{\frac{1/\beta - 1}{1 - f_w} + s}$$

$$\gamma_{\text{混合物}} = \gamma_o \times (1 - f_w) + \gamma_w \times f_w$$

[0010]  $\gamma_o$ ：地面油相对密度； $\gamma_w$ ：水相对密度； $R_s$ ：溶解气油比， $\text{m}^3/\text{m}^3$ ； $\beta$ ：充满系数； $s$ ：天然气溶解系数， $\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{MPa}$ ； $f_w$ ：含水率； $D_{\text{中}}$ ：油层中深， $\text{m}$ ； $D_{\text{挂}}$ ：泵挂深度， $\text{m}$ ； $h_{\text{合理}}$ ：合理沉

没度。

[0011] 对于高含水油藏,计算生产井合理最低井底流压时,合理沉没度取 300 ~ 500m ;充满系数取 0.8 以上。

[0012] 步骤二:计算注水井合理注水压力

[0013] 按照公式

$$[0014] \quad P_{i_{wf}} = P_{\text{破裂}} \times (1-X) = D_{\text{中}} \times Y \times (1-X)$$

[0015] 计算注水井合理注水压力。

[0016] 其中, X :破裂概率 ;Y :破裂压力梯度 ; $P_{\text{破裂}}$  :破裂压力, MPa。

[0017] 步骤三:计算油藏吸水能力和产液能力

[0018] (1) 吸水指数

$$[0019] \quad I_w = \frac{Q_{inj}}{n_w (P_{i_{wf}} - P_{i_{ws}})}$$

[0020]  $Q_{inj}$ , 油藏注水量 ; $n_w$ , 水井数 ; $P_{i_{wf}}$ , 注入压力 ; $P_{i_{ws}}$ , 水井平均地层压力。

[0021] (2) 产液指数

$$[0022] \quad J_L = J_{DL} J_{L(f_w=0)}$$

$$[0023] \quad J_{DL} = K_{ro} + K_{rw} \frac{\mu_o}{\mu_w}$$

[0024]  $J_L$ , 产液指数 ; $J_{DL}$ , 无因次产液指数 ; $K_{ro}$ , 油相相对渗透率 ; $K_{rw}$ , 水相相对渗透率 ; $\mu_o$ , 油的粘度 ; $\mu_w$ , 水的粘度。

[0025] 步骤四:计算油藏合理产液量

[0026] 引入单元产液量(每平方千米油井液量总和)和单元注水量(每平方千米注水井注水量总和)的概念。

$$[0027] \quad \text{单元产液量} : Q_L = J_L (P_R - P_{wf}) n_{\text{油井}}$$

[0028] 单元注水量 :

$$[0029] \quad Q_{wI} = I_w (P_{i_{wf}} - P_R) n_{\text{水井}}$$

[0030] 根据注采平衡原理(即注采比 IPR 取 1 的情况下) :

$$[0031] \quad Q_L = Q_{wI} = J_L (P_R - P_{wf}) n_{\text{油井}} = I_w (P_{i_{wf}} - P_R) n_{\text{水井}}$$

$$[0032] \quad \text{平衡地层压力} : P_R = \frac{(n - n_{\text{油井}}) I_w P_{i_{wf}} + n_{\text{油井}} J_L P_{wf}}{(n - n_{\text{油井}}) I_w + n_{\text{油井}} J_L}$$

[0033] 其中,  $n$  :井网密度, 口 / $\text{km}^2$  ; $J_L$  :油井产液指数,  $\text{m}^3 / (\text{d} \cdot \text{MPa})$  ; $P_{wf}$  :油井井底流压, MPa ; $I_w$  :注水井吸水指数,  $\text{m}^3 / (\text{d} \cdot \text{MPa})$  ; $P_{i_{wf}}$  :注水井井底流压, MPa ; $P_R$  :合理压力保持水平, MPa。

[0034] 由上式可知,注采平衡压力只与油水井数、吸水指数、采液指数以及注采井井底流压有关。

[0035] 因此,单元产液量可表达为 :

[0036]

$$Q_L = J_L I_w (P_{i wf} - P_{wf}) \frac{(n - n_{油井}) n_{油井}}{[(n - n_{油井}) I_w + n_{油井} J_L]}$$

[0037] 在油藏井网密度、采液指数、吸水指数、油井井底流压和水井井底流压已确定的情形下,单元产液量与油井数呈现二次方关系,即该产液量函数存在极值;令产液量对油井数的导数为0,即

[0038]

$$\frac{dQ_L}{dn_{油井}} = J_L I_w (P_{i wf} - P_{wf}) \frac{(n - n_{油井})^2 I_w - n_{油井}^2 J_L}{[(n - n_{油井}) I_w + n_{油井} J_L]^2} = 0$$

[0039] 则函数求导可得二次方程的解。由此,可以求出油藏注采系列参数:

[0040] 合理油井数  $n_{油井} = n \frac{1}{1 + \sqrt{J_L / I_w}}$

[0041] 合理水井数

[0042]  $n_w = n \frac{\sqrt{J_L / I_w}}{1 + \sqrt{J_L / I_w}}$

[0043] 合理注采井数比

[0044]

$$\frac{n_{水井}}{n_{油井}} = \sqrt{J_L / I_w}$$

[0045] 合理压力水平

[0046]  $P_R = \frac{\sqrt{I_w} P_{i wf} + \sqrt{J_L} P_{wf}}{\sqrt{I_w} + \sqrt{J_L}}$

[0047] 合理生产压差

[0048]  $\frac{\sqrt{I_w} (P_{i wf} - P_{wf})}{\sqrt{I_w} + \sqrt{J_L}}$

[0049] 合理注水压差

[0050]  $\frac{\sqrt{J_L} (P_{i wf} - P_{wf})}{\sqrt{I_w} + \sqrt{J_L}}$

[0051] 单元产液量最大值

[0052]  $Q_{Lmax} = J_L I_w (P_{i wf} - P_{wf}) n \frac{1}{(\sqrt{I_w} + \sqrt{J_L})^2}$

[0053] 带入油藏面积参数 A 即得所要求取的参数,油藏最大产液量:

$$[0054] \quad Q_{Lmax} = J_L I_w (P_{iwf} - P_{wf}) n \frac{1}{(\sqrt{I_w} + \sqrt{J_L})^2} \times A$$

[0055] 在保证合理沉没度及在油藏在当前注采平衡压力条件下,计算其最大产液量所能匹配的水井最大注水量,定义此时的最大产液量为油藏合理产液量,此时的注采动态参数能充分发挥油藏产能。

[0056] 本发明根据注采平衡原理和产能公式,基于油藏工程方法,建立井网密度确定下油藏合理产液量确定方法。本发明在分析了油藏驱动力和渗流特征的基础上,推导了合理沉没度下井底流压计算模型,建立了井网密确定时油藏合理产液量油藏工程计算方法。该方法避免了传统动态分析只对部分单井进行局部调整的缺点,考虑了注采井工艺条件、地层吸水和产液能力、注采井网匹配特征等因素。

#### 附图说明：

[0057] 附图 1 为本发明的一具体实例中沙二 9-10 区块目前压力与恢复压力下生产压差与采出程度关系曲线。

[0058] 附图 2 为本发明的一具体实例中沙二 9-10 区块目前压力及恢复压力采液采油指数对比图。

[0059] 附图 3 为本发明的一具体实例中沙二 1-3 区块目前及恢复压力下生产压差与采出程度关系曲线。

#### 具体实施方式：

[0060] 实施例 1：

[0061] 确定油藏合理产液量的方法,包括下列步骤：

[0062] 步骤一,计算油藏生产井合理最低井底流压；

[0063] 步骤二,计算注水井合理注水压力；

[0064] 步骤三,计算油藏吸水能力和产液能力；

[0065] 步骤四,计算油藏合理产液量。

[0066] 为使本实施例上述和其他目的、特征和优点能更明显易懂,下面结合技术原理,介绍油藏工程方法确定油藏合理产液量具体过程,同时举出较佳实验例,并配合所附图表和公式,作详细说明如下。

[0067] 1. 计算公式

[0068] 据产液量计算公式：

$$[0069] \quad Q_L = \Delta P \times J_L$$

[0070] 其中,  $Q_L$  为产液量； $\Delta P$  为生产压差； $J_L$  为采液指数。

[0071] 从上述公式中可知,地层的产液能力主要取决于外加的驱动力和油藏自身的渗流特征。生产压差作为油井产液的驱动力,主要受生产井合理最低井底流压、注水井合理最高注水压力以及油藏注采平衡压力三个因素的控制。采液指数主要与油藏的渗流特征有关,主要受油藏流体油水粘度比、油水的渗流特征和油藏不同含水阶段等的影响。因此,针对某一固定油藏,在一定含水阶段条件下,采液指数基本确定,可视为一常数。因此,下面主要针对外加驱动力来进行研究。

## [0072] 2. 生产井合理最低井底流压确定

[0073] 由于每个地层压力保持水平下均有一个合理的液量,因此确定合理流压时,综合考虑了饱和压力、沉没度、泵效、充满系数等参数,以保证达到机采井泵良好的工作状态。

[0074] 研究表明,对于高含水油藏,合理流压的基本条件就是能够保证抽油泵 300 ~ 500m 沉没度(平均为 400m)、泵效达到 80% 以上,充满系数 0.8 以上时的最小流压。

[0075] 由于最小井底流压计算公式为:

$$[0076] \quad P_{wf} = P_p + 0.01 \times \gamma_{\text{混合物}} \times (D_{\text{中}} - D_{\text{挂}}) \quad (1)$$

$$[0077] \quad \text{其中,} \quad P_p = \frac{R_s}{\frac{1/\beta - 1}{1 - f_w} + s}$$

$$[0078] \quad \gamma_{\text{混合物}} = \gamma_o \times (1 - f_w) + \gamma_w \times f_w$$

[0079]  $\gamma_o$ :地面油相对密度;  $\gamma_w$ :水相对密度;  $R_s$ :溶解气油比,  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ;  $\beta$ :充满系数;  $s$ :天然气溶解系数,  $\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{MPa}$ ;  $f_w$ :含水率;  $D_{\text{中}}$ :油层中深,  $\text{m}$ ;  $D_{\text{挂}}$ :泵挂深度,  $\text{m}$ 。

[0080] 结合合理流压的基本条件,将生产井合理最低井底流压定义为:

$$[0081] \quad P_{wf} = P_p + 0.01 \times \gamma_{\text{混合物}} \times (D_{\text{中}} - D_{\text{挂}} + 400) \quad (2)$$

[0082] 由公式(2)与公式(1)对比可知,公式(2)是在公式(1)的基础上,在泵挂深度上增加 400m 的沉没度(矿场合理范围为 300 ~ 500m),这样即可保证泵的充满系数  $\beta$  达 0.8 以上,泵效较高,使得机采泵处于良好工作状态,此时的最小井底流压即可定义为合理的最低井底流压。

## [0083] 3. 注水井合理注水压力计算

[0084] 注入压力:

$$[0085] \quad P_{iwf} = P_{\text{破裂}} \times (1 - X) = D_{\text{中}} \times Y \times (1 - X)$$

[0086] 其中,  $X$ :破裂概率(一般取 0.05 左右);  $Y$ :破裂压力梯度;  $P_{\text{破裂}}$ :破裂压力,  $\text{MPa}$ 。

## [0087] 4. 计算油藏吸水能力和产液能力

[0088] (1) 利用油田水井动态资料,吸水指数取单井计算平均值。

$$[0089] \quad I_w = \frac{Q_{inj}}{n_w (P_{iwf} - P_{iws})}$$

[0090]  $Q_{inj}$ ,油藏注水量;  $n_w$ ,水井数;  $P_{iwf}$ ,注入压力;  $P_{iws}$ ,水井平均地层压力。

[0091] (2) 利用相渗曲线和原油性质等资料,建立产液指数计算方法。

$$[0092] \quad J_L = J_{DL} J_L(f_w=0)$$

$$[0093] \quad J_{DL} = K_{ro} + K_{rw} \frac{\mu_o}{\mu_w}$$

[0094]  $J_L$ ,产液指数;  $J_{DL}$ ,无因次产液指数;  $K_{ro}$ ,油相相对渗透率;  $K_{rw}$ ,水相相对渗透率;  $\mu_o$ ,油的粘度;  $\mu_w$ ,水的粘度。

## [0095] 5. 确定油藏注采平衡压力

[0096] 研究表明,油藏地层压力水平若保持的过高,虽然生产压差可以放大,能获取较高

的产量,但需要提高注入压力,增加注水量,增加投资,加速套管损坏的速度,并可能造成过渡带地区的原油外流,影响开发效益。若地层压力保持过低,将会产生两方面的影响:一是地层能量不足,不能满足达到一定产量所需要的生产压差;二是地层压力低于饱和压力时,将造成油层脱气,形成三相流动,增加油的附加阻力。因此,这就存在一个能够满足油藏注采平衡条件下合理的油藏地层压力保持水平。下面详细介绍利用公式法推导注采平衡时地层压力过程。

[0097] 油田产液量:

$$[0098] \quad Q_L = J_L (P_R - P_{wf}) n_{\text{油井}}$$

[0099] 可表示为:

$$[0100] \quad Q_L = I_w \times H_{\text{砂}} \times B \times n_{\text{水井}} \times (P_{iwf} - P_R)$$

[0101] 油田注水量:

$$[0102] \quad Q_L = (J_L \cdot J_o \cdot (1-f_w) \cdot B_c + J_L \cdot J_o \cdot f_w) \cdot H_{\text{有效}} \cdot A \cdot n_{\text{油井}} \cdot (P_R - P_{wf})$$

[0103] 根据注采平衡原理:

$$[0104] \quad Q_L = IPR \cdot Q_L$$

[0105] 注采平衡时地层压力为:

[0106]

$$P_R = \frac{(J_L \cdot J_o \cdot (1-f_w) \cdot B_c + J_L \cdot J_o \cdot f_w) \cdot H_{\text{有}} \cdot A \cdot T \cdot IPR \cdot P_{wf} + I_w \cdot H_{\text{砂}} \cdot B \cdot P_{iwf}}{(J_L \cdot J_o \cdot (1-f_w) \cdot B_c + J_L \cdot J_o \cdot f_w) \cdot H_{\text{有}} \cdot A \cdot T \cdot IPR + I_w \cdot H_{\text{砂}} \cdot B}$$

[0107] 计算公式中采液指数可以利用相渗曲线和油水粘度比计算,吸水指数和初始采油指数由油田实际测试资料统计得到。

[0108] 其中,  $Q_L$ :油田产液量,  $m^3/d$ ;  $Q_I$ :油田注水量,  $m^3/d$ ;  $J_L$ :无因次采液指数;  $J_o$ :原始采油指数,  $m^3/(MPa \cdot m \cdot d)$ ;  $I_w$ :吸水指数,  $m^3/MPa \cdot m \cdot d$ ;  $P_R$ :地层压力, MPa;  $H_{\text{有}}$ 、 $H_{\text{砂}}$ :油井有效厚度、水井砂层厚度, m;  $n_{\text{油井}}$ 、 $n_{\text{水井}}$ :油井数、水井数; A、B:油水井厚度动用系数;  $Q_L$ :采油井采出地下体积,  $m^3/d$ ;  $B_c$ :体积换算系数,  $B_c = B_o/ro$ ;  $B_o$ :原油体积系数; T:油水井数比,  $T = n_{\text{油井}}/n_{\text{水井}}$ ; IPR, 注采比。

[0109] 6. 确定合理产液量

[0110] 为了求出在一定的井网密度和吸水、产液能力下的油藏合理产液量。引入单元产液量(每平方千米油井液量总和)和单元注水量(每平方千米注水井注水量总和)的概念。

[0111] 单元产液量:

$$[0112] \quad Q_L = J_L (P_R - P_{wf}) n_{\text{油井}}$$

[0113] 单元注水量:

$$[0114] \quad Q_{wI} = I_w (P_{iwf} - P_R) n_{\text{水井}}$$

[0115] 根据注采平衡原理(注采比 IPR 取 1):

$$[0116] \quad Q_L = Q_{wI} = J_L (P_R - P_{wf}) n_{\text{油井}} = I_w (P_{iwf} - P_R) n_{\text{水井}}$$

$$[0117] \quad \text{平衡地层压力: } P_R = \frac{(n - n_{\text{油井}}) I_w P_{iwf} + n_{\text{油井}} J_L P_{wf}}{(n - n_{\text{油井}}) I_w + n_{\text{油井}} J_L}$$

[0118] 其中, n:井网密度,  $\text{口}/\text{km}^2$ ;  $J_L$ :油井产液指数,  $m^3/(d \cdot \text{MPa})$ ;  $P_{wf}$ :油井井底流压, MPa;  $I_w$ :注水井吸水指数,  $m^3/(d \cdot \text{MPa})$ ;  $P_{iwf}$ :注水井井底流压, MPa;  $P_R$ :合理压力保持水平,



MPa。

[0119] 平衡压力只与油水井数、吸水指数、采液指数以及注采井井底流压有关。

[0120] 因此,单元产液量可表达为:

[0121]

$$Q_L = J_L I_w (P_{iwf} - P_{wfp}) \frac{(n - n_{\text{油井}}) n_{\text{油井}}}{(n - n_{\text{油井}}) I_w + n_{\text{油井}} J_L}$$

[0122] 在合理井网密度、采液指数、吸水指数、油井井底流压和水井井底流压一定的条件下,单元产液量与油井数呈现二次方关系,即该产液量函数存在极值。令产液量对油井数的导数为0,即

[0123]

$$\frac{dQ_L}{dn_{\text{油井}}} = J_L I_w (P_{iwf} - P_{wfp}) \frac{(n - n_{\text{油井}})^2 I_w - n_{\text{油井}}^2 J_L}{[(n - n_{\text{油井}}) I_w + n_{\text{油井}} J_L]^2} = 0$$

[0124] 则函数求导可得二次方程的解。由此,可以求出油藏注采系列参数:

[0125] 合理油井数  $n_{\text{油井}} = n \frac{1}{1 + \sqrt{J_L / I_w}}$

[0126] 合理水井数

[0127]  $n_w = n \frac{\sqrt{J_w / I_w}}{1 + \sqrt{J_w / I_w}}$

[0128] 合理注采井数比  $\frac{n_{\text{水井}}}{n_{\text{油井}}} = \sqrt{J_L / I_w}$

[0129] 合理压力水平  $P_R = \frac{\sqrt{I_w} P_{iwf} + \sqrt{J_L} P_{wfp}}{\sqrt{I_w} + \sqrt{J_L}}$

[0130] 合理生产压差  $\frac{\sqrt{I_w} (P_{iwf} - P_{wfp})}{\sqrt{I_w} + \sqrt{J_L}}$

[0131] 合理注水压差  $\frac{\sqrt{J_L} (P_{iwf} - P_{wfp})}{\sqrt{I_w} + \sqrt{J_L}}$

[0132] 单元产液量最大值

[0133]  $Q_{Lmax} = J_L I_w (P_{iwf} - P_{wfp}) n \frac{1}{(\sqrt{I_w} + \sqrt{J_L})^2}$

[0134] 根据单元产液量定义,带入油藏面积(参数A),即得所求参数,油藏最大产液量:

$$[0135] \quad Q_{Lmax} = J_L I_w (P_{iwf} - P_{wf}) n \frac{1}{(\sqrt{I_w} + \sqrt{J_L})^2} \times A$$

[0136] 利用上述该油藏工程方法,可以确定出在目前注采平衡条件下的最大产液量,即为该平衡条件下的油藏合理产液量。

[0137] 综合以上分析,概况合理产液量内涵为:某一固定油藏,在一定开发阶段,能够充分发挥油层的生产能力,满足合理流压及注采平衡条件下的最大产液量,即为该油藏目前状况条件下的合理液量。具体表现为:①某一固定油藏,在一定开发阶段,能够充分发挥油层的生产能力:指在目前条件下(如层系井网、流动系数、油水井数比、含水等一定时),储层能够达到的最大产出能力;②满足合理流压及注采平衡:指油井必须在保证合理沉没度及在此时刻的平衡压力条件下,最大产出量所能匹配的水井最大注水量。

[0138] 本实施例基于油藏地层驱动力和渗流特征研究,较完整的揭示了合理产液量内涵。根据注采平衡原理和产能公式,推导合理沉没度下井底流压计算模型,建立一定井网密度下确定合理产液量油藏工程方法。考虑了注采井工艺条件、地层吸水和产液能力、注采井网匹配特征等因素,避免了传统动态分析只对部分单井进行局部调整等缺点。

[0139] 实验例 2:

[0140] 利用发明的合理产液量油藏工程确定技术,以胜坨油田为例,分别应用于胜利采油厂不同沉积储层(河流相和三角洲相沉积)典型单元:(1)胜二区沙二 9~10 单元,该单元属于三角洲相纯水驱单元,目前井网恢复压力是可行

[0141] 附表 1 胜二区沙二 9~10 单元合理产液量计算表

[0142]

参数	单位	目前井网		
		胜二区沙二9-10	胜二区沙二9	胜二区沙二10
含油面积	km <sup>2</sup>	2.24	2.45	2.2
井网密度	口/km <sup>2</sup>	9.82	8.98	6.82
井数	口	22	22	15
油层中深	m	2100	2000	2100
泵挂深度	m	1500	1400	1500
采液指数	m <sup>3</sup> /(d·MPa)	39	20	47
吸水指数	m <sup>3</sup> /(d·MPa)	100	80	110
井口注水压力	MPa	20	17.5	19
生产井底流压	MPa	10.3	10.1	10.3
合理油井数	口	13	15	9
合理水井数	口	10	8	6
合理注采井数比		0.6	0.5	0.7
合理压力水平	MPa	15.3	14.0	14.6
合理生产压差	MPa	6.0	4.9	5.3
合理注水压差	MPa	3.7	2.5	3.4
油藏合理产液量	m <sup>3</sup> /d	3153.7	1447.1	2242.9
单井合理产液量	m <sup>3</sup> /d	232.9	98.7	247.3

[0143] 的,最佳合理地层压力应恢复到 15.3MPa(压降恢复 2.2MPa),平均单井日液由原

58m<sup>3</sup>/d 提高到 200m<sup>3</sup>/d。15 年末采出程度提高 5.0%，增加可采储量 17.7×10<sup>4</sup>t。分层系后再恢复压力，其提液效果更好，见附图 1、附图 2。其中沙二 9 层系压力保持水平由 11.9MPa 恢复到 13.9MPa 后，其液量可由 30m<sup>3</sup>/d 提高到 70m<sup>3</sup>/d，而沙二 10 层系压力保持水平由 13.5MPa 恢复到 15.5MPa 后，其液量可由 80m<sup>3</sup>/d 提高到 235m<sup>3</sup>/d。总体对比来看，细分层系恢复压力后提液生产，沙二 9～10 单元 15 年末采出程度可提高 7.4%，增加可采储量 26.2×10<sup>4</sup>t，比未分层直接恢复压力提高采出程度 2.4%，增加可采储量 8.5×10<sup>4</sup>t，见附表 1。(2) 胜一区沙二 1～3 单元，该单元属于河流相聚驱转后续水驱单元，应先进行解堵，其次再考虑整体产液结构调整。若解堵后，推荐该块地层压力应恢复到 15.5MPa(压降恢复 2.4MPa)，生产压差控制在 3.5MPa，此时液量可由 40m<sup>3</sup>/d 提高到 139.4m<sup>3</sup>/d。该方案 15 年末采出程度提高 2.7%，增加可采储量 29.4×10<sup>4</sup>t。细分层系后，当压力水平保持在 15MPa 左右，效果最好，见附图 3。推荐沙二 1、2～3 砂组合理压力保持水平均为 15MPa，此时对应的合理产液量沙二 1 为 146m<sup>3</sup>/d，沙二 2～3 为 87m<sup>3</sup>/d，见附表 2。

[0144] 附表 2 胜一区沙二 1-3 单元合理产液量计算表

[0145]

参数	单位	目前井网	调整井网	
		胜一区沙二1-3	胜一区沙二1	胜一区沙二2-3
含油面积	km <sup>2</sup>	19.1	19.1	12.6
井网密度	口/km <sup>2</sup>	4.66	9.16	5.97
井数	口	89	175	114
油层中深	m	2000	2000	2000
泵挂深度	m	1200	1200	1200
采液指数	m <sup>3</sup> /(d·MPa)	36	38	30
吸水指数	m <sup>3</sup> /(d·MPa)	80	100	75
注水压力	MPa	19	21.5	20
生产井底流压	MPa	11	12	12.5
合理油井数	口	52	115	50
合理水井数	口	37	57	25
合理注采井数比		0.7	0.6	0.6
合理压力水平	MPa	15.8	17.9	17.1
合理生产压差	MPa	4.8	5.9	4.6
合理注水压差	MPa	3.2	3.6	2.9
油藏最大产液量	t/d	9181.7	24178.3	9625.1
单井最大产液量	t/d	103.2	138.2	84.4

[0146] 该发明在两个典型单元目前矿场应用现状及经济效益：①胜二区沙二 9-10 单元：细分完善井网后，沙二 9 层系：调整后液量稳中有升，地层压力目前已恢复到 14MPa，单井液量由 30m<sup>3</sup>/d 提升到 50m<sup>3</sup>/d，动液面恢复 558m。沙二 10 层系：地层压力已恢复到 15MPa，单井液量由 70m<sup>3</sup>/d 恢复到 150m<sup>3</sup>/d，目前整个区块已新增产能 1.1×10<sup>4</sup>t。预计采收率提高 5.7%，增加可采储量 20.2×10<sup>4</sup>t，创产值 6.3 亿元。②胜一区沙二 1-3 单元：调整后设计新油井 56 口，新水井 39 口，新增产能 7.0×10<sup>4</sup>t。目前已投产 9 口，投注 2 口，新增产能 1.3×10<sup>4</sup>t。整体方案预计增加可采储量 120×10<sup>4</sup>t，创产值 37.4 亿元。研究发明成果具有广阔的应用前景和巨大的经济效益。

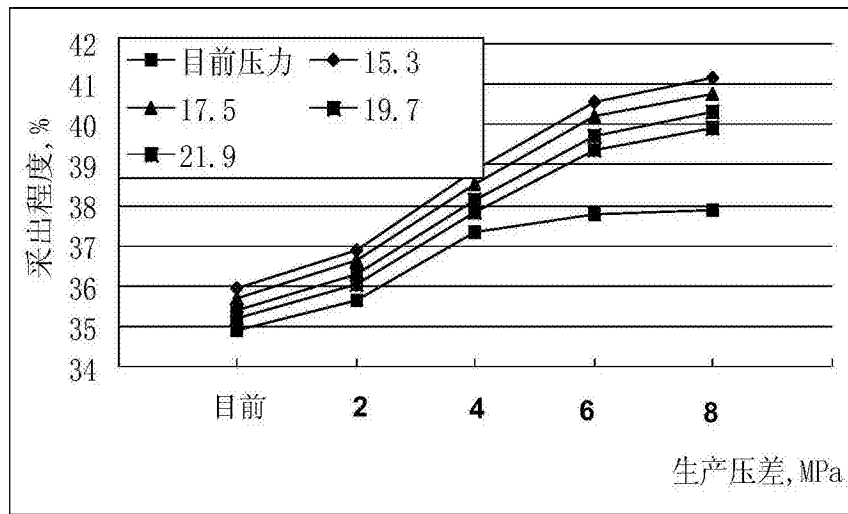


图 1

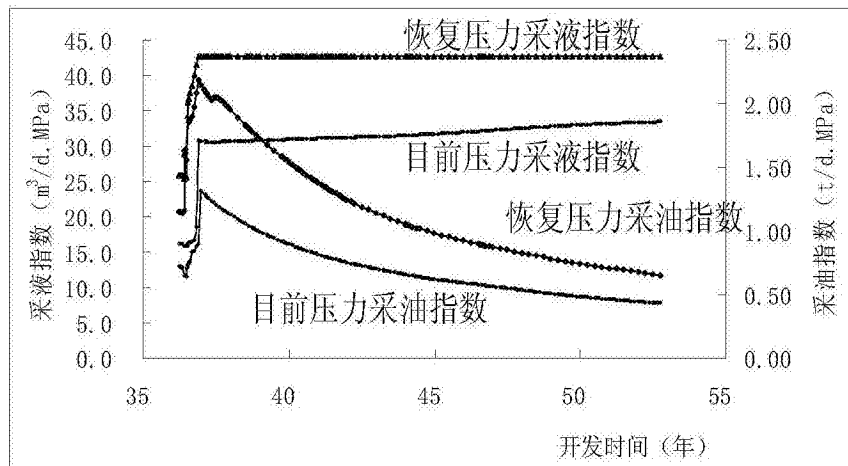


图 2

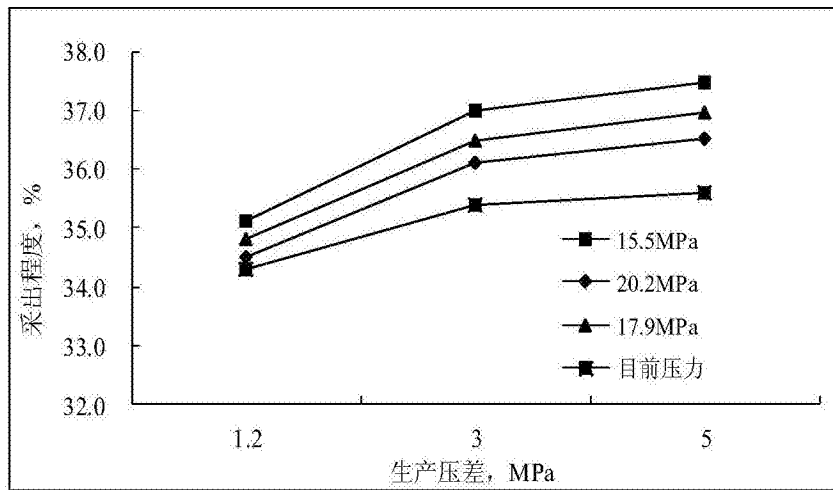


图 3