



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107387030 B

(45)授权公告日 2020.04.10

(21)申请号 201710615729.3

(22)申请日 2017.07.26

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107387030 A

(43)申请公布日 2017.11.24

(73)专利权人 中国海洋石油总公司
地址 100010 北京市东城区朝阳门北大街
25号

专利权人 中海油能源发展股份有限公司
中国石油大学(北京)

(72)发明人 郑春峰 程心平 谢双喜 李昂
詹敏 沈琼 檀朝东 阚唱轩

(74)专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代
理事务所 12201

代理人 吴学颖

(51)Int.Cl.

E21B 43/00(2006.01)

E21B 47/00(2012.01)

(56)对比文件

CN 103670348 A,2014.03.26,

CN 106777709 A,2017.05.31,

CN 200982184 Y,2007.11.28,

CN 106762584 A,2017.05.31,

CN 105089582 A,2015.11.25,

US 3366173 A,1968.01.30,

RU 95111234 A,1997.06.27,

陈维等.“大水量气井电潜泵一气举组合排
水采气工艺设计”.《天然气技术》.2009,(第6
期),

审查员 谢福龙

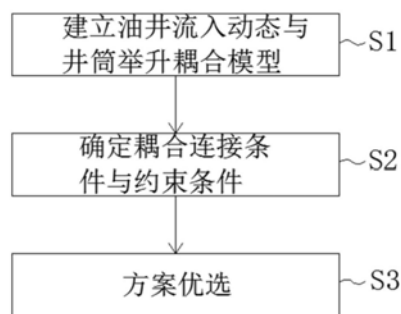
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种利用本井气的接力举升采油设计方法

(57)摘要

本发明公开了一种利用本井气的接力举升采油设计方法:建立油井流入动态与井筒举升耦合模型;确定耦合连接条件与约束条件;计算具体举升方式下的实际产量和系统效率,按照目标函数进行方案优选。本发明充分考虑地层、井筒、电泵和气举设备、和地面控制装置之间的相互影响,可以科学利用本井气能量实现高产量、低能耗的智能化采油。



1. 一种利用本井气的接力举升采油设计方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤S1:建立油井流入动态与井筒举升耦合模型:以地层自然能量和人工能量的合理利用为目标,以举升设备最大能力为约束条件,建立油井流入动态、井筒多相流动、举升工艺的运动学及动力学耦合模型;

步骤S2:确定耦合连接条件与约束条件:涉及电泵的耦合模型应以电泵的极限耐温、极限下泵深度、极限扬程为约束条件;涉及气举的耦合模型应以注气阀极限下深、最大注气量为约束条件;

步骤S3:方案优选:计算具体举升方式下的实际产量和系统效率,按照目标函数进行方案优选。

2. 根据权利要求1所述的一种利用本井气的接力举升采油设计方法,其特征在于,步骤S1中油井流入动态是指油井产量与井底油层流压的关系,关系式如下,

$$Q_o = J_o (P_{r_o} - P_{wf,o})$$

式中: Q_o 为油井产量, m^3/d ; J_o 为采液指数, $m^3/(d \cdot MPa)$; P_{r_o} 为油层压力,MPa; $P_{wf,o}$ 为井底油层流压,MPa。

3. 根据权利要求2所述的一种利用本井气的接力举升采油设计方法,其特征在于,所述井底油层流压是井筒多相流动分析的起点,井筒多相流动分析中又同时存在压力和温度的相互耦合关系,关系式如下,

$$\frac{dp}{dZ} = \rho g \sin \theta + \rho v \frac{dv}{dZ} + f \frac{\rho v^2}{d} + \rho \frac{dW}{dZ}$$

对于气层而言,注气管柱中注气点处气体压力为:

$$P_g(H_{\text{注}}) = P_{wf,g} - \frac{\rho_{g0} g' T_0 (H_g - H_{\text{注}})}{P_o T_{av} Z_{av}}$$

式中: ρ 为流体密度, m^3/kg ; v 为流体通过断面的平均流速, m/s ; p 为压力,Pa; $H_{\text{注}}$ 为注气深度,m; Z 为流体断面到井底的距离,m; f 为流体流动时的摩擦阻力系数; d 为管径,m; W 为外界提供的能量,J; $P_g(H_{\text{注}})$ 为注气管柱注气点处气体压力,MPa; $P_{wf,g}$ 为气层流压,MPa; ρ_{g0} 为标准状况下气体密度, m^3/kg ; g' 为气体加速度, m/s^2 ; T_0 为标准状况下的温度,K; H_g 为气层深度,m; P_o 为标准状况下的压力,MPa; T_{av} 为平均温度,K; Z_{av} 为平均温度和平均压力下的气体压缩因子。

4. 根据权利要求1所述的一种利用本井气的接力举升采油设计方法,其特征在于,步骤S1中人工能量关系式如下:

$$W = f_i(Q_{\text{注}}, H_{\text{注}}, H_{\text{扬}}, H_{\text{泵}}; \text{else})$$

式中: $H_{\text{扬}}$ 为电泵扬程,m; $H_{\text{泵}}$ 为电泵下入深度,m; $Q_{\text{注}}$ 为注气量, m^3/d ; $H_{\text{注}}$ 为注气深度,m。

5. 根据权利要求1所述的一种利用本井气的接力举升采油设计方法,其特征在于,步骤S1中建立不同人工举升方式下的油井流入动态、井筒多相流动与举升工作参数的耦合模型如下,

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_o = J_o (P_{r_o} - P_{wf,o}) \\ \frac{dp}{dZ} = \rho g \sin \theta + \rho v \frac{dv}{dZ} + f \frac{\rho v^2}{d} + \rho \frac{dW}{dZ} \\ P_g(H_{\text{注}}) = P_{wf,g} - \frac{\rho_{g0} g' T_o (H_g - H_{\text{注}})}{P_o T_{av} Z_{av}} \\ W = f_i(Q_{\text{注}}, H_{\text{注}}; H_{\text{扬}}, H_{\text{泵}}; \text{else}) \end{array} \right.$$

式中, Q_o 为油井产量, m^3/d ; J_o 为采液指数, $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa})$; P_{r_o} 为油层压力, MPa ; $P_{wf,o}$ 为井底油层流压, MPa ; ρ 为流体密度, m^3/kg ; v 为流体通过断面的平均流速, m/s ; p 为压力, Pa ; $H_{\text{注}}$ 为注气深度, m ; Z 为流体断面到井底的距离, m ; f 为流体流动时的摩擦阻力系数; d 为管径, m ; W 为外界提供的能量, J ; $P_g(H_{\text{注}})$ 为注气管柱注气点处气体压力, MPa ; $P_{wf,g}$ 为气层流压, MPa ; ρ_{g0} 为标准状况下气体密度, m^3/kg ; g' 为气体加速度, m/s^2 ; T_o 为标准状况下的温度, K ; H_g 为气层深度, m ; P_o 为标准状况下的压力, MPa ; T_{av} 为平均温度, K ; Z_{av} 为平均温度和平均压力下的气体压缩因子; $H_{\text{扬}}$ 为电泵扬程, m ; $H_{\text{泵}}$ 为电泵下入深度, m ; $Q_{\text{注}}$ 为注气量, m^3/d 。

6. 根据权利要求1所述的一种利用本井气的接力举升采油设计方法, 其特征在于, 步骤S3具体包括如下步骤:

步骤S31: 优化模型确定, 把油井产量和系统效率作为目标变量, 结合以上推导的耦合模型得到优化模型为:

目标函数: $Y = \omega_1 Q_o + \omega_2 \eta_{\text{系统}}$

优化变量: $Q_{\text{注}}, H_{\text{注}}, H_{\text{扬}}, H_{\text{泵}}$

式中: Q_o 为油井产量, m^3/d ; $\eta_{\text{系统}}$ 为系统效率; ω_1 为产量的权重; ω_2 为系统效率的权重; $H_{\text{扬}}$ 为电泵扬程, m ; $H_{\text{泵}}$ 为电泵下入深度, m ; $Q_{\text{注}}$ 为注气量, m^3/d ; $H_{\text{注}}$ 为注气深度, m ;

步骤S32: 确定油井设计产量;

步骤S33: 根据设计产量确定井底油层流压 $P_{wf,o}$;

步骤S34: 估计所需气层供气量, 即注气量 $Q_{\text{注}}$;

步骤S35: 根据气层IPR曲线确定对应的气层流压 $P_{wf,g}$;

步骤S36: 以井底油层流压 $P_{wf,o}$ 、气层流压 $P_{wf,g}$ 为起点, 进行井筒多相流动温度场和压力场计算;

步骤S37: 以井筒多相流动温度场和压力场计算为基础, 进行人工举升设计与井筒温度、压力场的耦合分析计算;

步骤S38: 计算具体举升方式下的实际产量和系统效率, 按照目标函数进行方案优选。

一种利用本井气的接力举升采油设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种,更具体的说,是涉及一种利用本井气的接力举升采油设计方法。

背景技术

[0002] 油气田开采的过程中,对于有油层和气层同时存在油藏,开发方案一般是先进行气藏开采等气藏能量枯竭后再更换生产管柱进行采油,造成开采时间长,气藏能量未得到很好的利用,采收效率低,因此利用本井气的电泵—气举接力举升可以充分发挥气举和电泵的优势,实现高产量、低能耗采油。

[0003] 如何利用本井气的气层能量是一个非常复杂的问题,一方面是因为电泵—气举管柱结构的复杂性,生产管柱不仅要保证电泵和气举作为独立系统的安全生产,还要充分考虑两者正常工作时候的相互影响。目前,相关人员已经设计出多种气举—电泵接力举升装置,包括利用外来气以及利用本井气的气举—电泵接力举升装置,基本可以满足本井气的气举—电泵接力举升生产的需要;另一方面,在已有的本井气的气举—电泵接力举升装置的基础之上,采用科学合理的设计流程进行电泵工作参数和气举工作参数的计算仍然是一个急需解决的问题,如何能够保证气举系统和电泵系统充分发挥各自的优势,保证两者之间的协调生产是整个气举—电泵接力举升生产设计的核心内容。

[0004] 中国发明专利申请CN 104695910 A公开了一种同类容积泵接力举升采油方法,包括如下步骤:a)向油管内注入液体,直至靠近井口处的举升泵沉没入所述液体中;b)转动抽油杆带动多个举升泵同时工作,井底原油通过多个所述举升泵被接力举升地面。

发明内容

[0005] 本发明的目的是为了克服现有技术中的不足,提供一种利用本井气的接力举升采油设计方法,充分考虑地层、井筒、电泵和气举设备、和地面控制装置之间的相互影响,可以科学利用本井气能量实现高产量、低能耗的智能化采油。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的。

[0007] 本发明的一种利用本井气的接力举升采油设计方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤S1:建立油井流入动态与井筒举升耦合模型:以地层自然能量和人工能量的合理利用为目标,以举升设备最大能力为约束条件,建立油井流入动态、井筒多相流动、举升工艺的运动学及动力学耦合模型;

[0009] 步骤S2:确定耦合连接条件与约束条件:涉及电泵的耦合模型应以电泵的极限耐温、极限下泵深度、极限扬程为约束条件;涉及气举的耦合模型应以注气阀极限下深、最大注气量为约束条件;

[0010] 步骤S3:方案优选:计算具体举升方式下的实际产量和系统效率,按照目标函数进行方案优选。

[0011] 步骤S1中油井流入动态是指油井产量与井底油层流压的关系,关系式如下,

[0012] $Q_o = J_o (P_{r_o} - P_{wf,o})$

[0013] 式中： Q_o 为油层产量， m^3/d ； J_o 为采液指数， $m^3/(d \cdot MPa)$ ； P_{r_o} 为油层压力，MPa； $P_{wf,o}$ 为井底油层流压，MPa。

[0014] 所述井底油层流压是井筒多相流动分析的起点，井筒多相流动分析中又同时存在压力和温度的相互耦合关系，关系式如下，

$$[0015] \quad \frac{dp}{dZ} = \rho g \sin \theta + \rho v \frac{dv}{dZ} + f \frac{\rho v^2}{d} + \rho \frac{dW}{dZ}$$

[0016] 对于气层而言，注气管柱中注气点处气体压力为：

$$[0017] \quad P_g(H_{\text{注}}) = P_{wf,g} - \frac{\rho_{g0} g' T_o (H_g - H_{\text{注}})}{P_o T_{av} Z_{av}}$$

[0018] 式中： ρ 为流体密度， m^3/kg ； v 为流体通过断面的平均流速， m/s ； p 为压力，Pa； $H_{\text{注}}$ 为注气深度，m； Z 为流体断面到井底的距离，m； f 为流体流动时的摩擦阻力系数； d 为管径，m； W 为外界提供的能量，J； $P_g(H_{\text{注}})$ 为注气管柱注气点处气体压力，MPa； $P_{wf,g}$ 为气层流压，MPa； ρ_{g0} 为标准状况下气体密度， m^3/kg ； g' 为气体加速度， m/s^2 ； T_o 为标准状况下的温度，K； H_g 为气层深度，m； P_o 为标准状况下的压力，MPa； T_{av} 为平均温度，K； Z_{av} 为平均温度和平均压力下的气体压缩因子。

[0019] 步骤S1中人工能量关系式如下：

$$[0020] \quad W = f_i(Q_{\text{注}}, H_{\text{注}}; H_{\text{扬}}, H_{\text{泵}}; \text{else})$$

[0021] 式中： $H_{\text{扬}}$ 为电泵扬程，m； $H_{\text{泵}}$ 为电泵下入深度，m； $Q_{\text{注}}$ 为注气量， m^3/d ； $H_{\text{注}}$ 为注气深度，m。

[0022] 步骤S1中建立不同人工举升方式下的油井流入动态、井筒多相流动与举升工作参数的耦合模型如下，

$$[0023] \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_o = J_o (P_{r_o} - P_{wf,o}) \\ \frac{dp}{dZ} = \rho g \sin \theta + \rho v \frac{dv}{dZ} + f \frac{\rho v^2}{d} + \rho \frac{dW}{dZ} \\ P_g(H_{\text{注}}) = P_{wf,g} - \frac{\rho_{g0} g' T_o (H_g - H_{\text{注}})}{P_o T_{av} Z_{av}} \\ W = f_i(Q_{\text{注}}, H_{\text{注}}; H_{\text{扬}}, H_{\text{泵}}; \text{else}) \end{array} \right.$$

[0024] 步骤S3具体包括如下步骤：

[0025] 步骤S31：优化模型确定，把油井产量和系统效率作为目标变量，结合以上推导的耦合模型得到优化模型为：

$$[0026] \quad \text{目标函数：} Y = \omega_1 Q_o + \omega_2 \eta_{\text{系统}}$$

$$[0027] \quad \text{优化变量：} Q_{\text{注}}, H_{\text{注}}, H_{\text{扬}}, H_{\text{泵}}$$

[0028] 式中： Q_o 为油井产量， m^3/d ； $\eta_{\text{系统}}$ 为系统效率； ω_1 为产量的权重； ω_2 为系统效率的权重； $H_{\text{扬}}$ 为电泵扬程，m； $H_{\text{泵}}$ 为电泵下入深度，m； $Q_{\text{注}}$ 为注气量， m^3/d ； $H_{\text{注}}$ 为注气深度，m；

[0029] 步骤S32：确定油井设计产量；

[0030] 步骤S33：根据设计产量确定井底油层流压 $P_{wf,o}$ ；

- [0031] 步骤S34:估计所需气层供气量,即注气量 $Q_{注}$;
- [0032] 步骤S35:根据气层IPR曲线确定对应的气层流压 $P_{wf,g}$;
- [0033] 步骤S36:以井底油层流压 $P_{wf,o}$ 、气层流压 $P_{wf,g}$ 为起点,进行井筒多相流动温度场和压力场计算;
- [0034] 步骤S37:以井筒多相流动温度场和压力场计算为基础,进行人工举升设计与井筒温度、压力场的耦合分析计算;
- [0035] 步骤S38:计算具体举升方式下的实际产量和系统效率,按照目标函数进行方案优选。
- [0036] 与现有技术相比,本发明的技术方案所带来的有益效果是:
- [0037] 本发明充分考虑地层、井筒、电泵和气举设备、和地面控制装置之间的相互影响,提供了一个完整的利用本井气的接力举升采油设计方法;根据本发明可以科学利用本井气能量实现高产量、低能耗的智能化采油。

附图说明

- [0038] 图1是本发明利用本井气的接力举升采油设计方法的流程示意图

具体实施方式

- [0039] 下面结合附图对本发明作进一步的描述。
- [0040] 如图1所示,本发明的一种利用本井气的接力举升采油设计方法,包括以下步骤:
- [0041] 步骤S1:建立油井流入动态与井筒举升耦合模型:以地层自然能量和人工能量的合理利用为目标,以举升设备最大能力(即电机耐温、压缩机功率、电泵极限扬程等)为约束条件,建立油井流入动态、井筒多相流动、举升工艺的运动学及动力学耦合模型。
- [0042] 考虑井身结构对井筒流动的温度压力场及深井泵流体动力特性影响,考虑工艺模式及管柱对深井泵工作特性和举升效率的影响,应用系统工程方法求解获得油井供排协调的接力举升组合方式和各个入选举升方式的工作参数,实现高产量、低能耗的智能化采油。
- [0043] 油井流入动态是指油井产量与井底油层流压的关系,反映油藏向该井供油的能力。它是确定油井合理工作方式的依据,是整个人工举升设计的基础。

$$[0044] \quad Q_o = J_o (P_{r_o} - P_{wf,o}) \quad (1)$$

[0045] 式中: Q_o 为油层产量, m^3/d ; J_o 为采液指数, $m^3/(d \cdot MPa)$; P_{r_o} 为油层压力,MPa; $P_{wf,o}$ 为井底油层流压,MPa。

[0046] 井底油层流压是井筒多相流动分析的起点,井筒多相流动分析中又同时存在压力和温度的相互耦合关系。由于井筒内气-液两相流动过程中的压力波动而导致气液两相混合物呈现不同流动型态;不同的流动型态又直接影响着沿程压降、气体的持液率以及混合物的密度等参数。

$$[0047] \quad \frac{dp}{dZ} = \rho g \sin \theta + \rho v \frac{dv}{dZ} + f \frac{\rho v^2}{d} + \rho \frac{dW}{dZ} \quad (2)$$

[0048] 对于气层而言,注气管柱中注气点处气体压力为:

$$[0049] \quad P_g(H_{注}) = P_{wf,g} - \frac{\rho_{g0} g' T_o (H_g - H_{注})}{P_o T_{av} Z_{av}} \quad (3)$$

[0050] 式中： ρ 为流体密度， m^3/kg ； v 为流体通过断面的平均流速， m/s ； p 为压力， Pa ； $H_{\text{注}}$ 为注气深度， m ； Z 为流体断面到井底的距离， m ； f 为流体流动时的摩擦阻力系数； d 为管径， m ； W 为外界提供的能量， J ； $P_g(H_{\text{注}})$ 为注气管柱注气点处气体压力， MPa ； $P_{\text{wf},g}$ 为气层流压， MPa ； ρ_{g0} 为标准状况下气体密度， m^3/kg ； g' 为气体加速度， m/s^2 ； T_0 为标准状况下的温度， K ； H_g 为气层深度， m ； P_0 为标准状况下的压力， MPa ； T_{av} 为平均温度， K ； Z_{av} 为平均温度和平均压力下的气体压缩因子。

[0051] 无论采取哪一种举升方式，其根本原因都在于地层能量等现有条件无法满足生产的需要，因此需要人为的补充能量来保证正常的生产。该部分能量体现为能量守恒方程中的 W ，即压力梯度中的 $\rho \frac{dW}{dZ}$ 。 W 为人工举升给井筒流体提供的能量，是电泵和气举工艺参数的函数。

[0052] $W = f_i(Q_{\text{注}}, H_{\text{注}}; H_{\text{扬}}, H_{\text{泵}}; \text{else})$ (4)

[0053] 式中： $H_{\text{扬}}$ 为电泵扬程， m ； $H_{\text{泵}}$ 为电泵下入深度， m ； $Q_{\text{注}}$ 为注气量， m^3/d ； $H_{\text{注}}$ 为注气深度， m 。

[0054] 通过上述分析，建立不同人工举升方式下的油井流入动态、井筒多相流动与举升工作参数的耦合模型如下，

$$[0055] \left\{ \begin{array}{l} Q_o = J_o(P_{r_o} - P_{\text{wf},o}) \\ \frac{dp}{dZ} = \rho g \sin \theta + \rho v \frac{dv}{dZ} + f \frac{\rho v^2}{d} + \rho \frac{dW}{dZ} \\ P_g(H_{\text{注}}) = P_{\text{wf},g} - \frac{\rho_{g0} g' T_0 (H_g - H_{\text{注}})}{P_0 T_{\text{av}} Z_{\text{av}}} \\ W = f_i(Q_{\text{注}}, H_{\text{注}}; H_{\text{扬}}, H_{\text{泵}}; \text{else}) \end{array} \right. \quad (5)$$

[0056] 步骤S2：确定耦合连接条件与约束条件：涉及电泵的耦合模型应以电泵的极限耐温、极限下泵深度、极限扬程为约束条件；涉及气举的耦合模型应以注气阀极限下深、最大注气量为约束条件。

[0057] 在已知设计产液量的条件下，根据IPR关系曲线可以确定对应的油层流压 $P_{\text{wf},o}$ ，同时估计所需气层供气量 Q_g ，根据气层IPR曲线确定对应的气层流压 $P_{\text{wf},g}$ 。

[0058] $Q_g = f_j(Q_o)$ (6)

[0059] $Q_g = J_g(P_{r_g} - P_{\text{wf},g})$ (7)

[0060] 式中： J_g 为采气指数； P_{r_g} 为气层压力。

[0061] 注气点处油管压力 $P_o(H_{\text{注}})$ 和气体压力 $P_g(H_{\text{注}})$ 满足关系：

[0062] $P_g(H_{\text{注}}) - P_o(H_{\text{注}}) = \Delta P$ (8)

[0063] 式中： ΔP 为气体过阀压差， MPa 。

[0064] 油层流压和气层流压即为管流计算的起点。井筒多相流动压力计算的终点为井口压力 P_{wh} 。

[0065] 油层位置处的压力 $P_{(H=H_o)} : P_{(H=H_o)} = P_{\text{wf},o}$ (9)

$$[0066] \quad \text{气层位置处的压力 } P_{(H=H_g)} : P_{(H=H_g)} = P_{wf,g} \quad (10)$$

$$[0067] \quad \text{井口位置处的压力 } P_{(H=H_{井口})} : P_{(H=H_{井口})} = P_{wh} \quad (11)$$

[0068] 涉及电泵的耦合模型应以电泵的极限耐温、极限下泵深度、极限扬程等为约束条件：

$$[0069] \quad H_{扬} \leq H_{极限扬程} \quad (12)$$

$$[0070] \quad T \leq T_{极限} \quad (13)$$

$$[0071] \quad H \leq H_{极限} \quad (14)$$

[0072] 其中， $H_{扬}$ 为电泵扬程，m； $H_{极限扬程}$ 为电泵极限扬程，m； T 为电泵处温度， $^{\circ}\text{C}$ ； $T_{极限}$ 为电泵极限耐温， $^{\circ}\text{C}$ ； H 为电泵下入深度，m； $H_{极限}$ 为电泵极限下入深度，m。

[0073] 涉及气举的耦合模型应以注气阀极限下深、最大注气量等为约束条件：

$$[0074] \quad H_{注} \leq H_{极限注气} \quad (15)$$

$$[0075] \quad Q_{注} \leq Q_{极限注气} \quad (16)$$

[0076] 其中， $H_{注}$ 为注气深度，m； $H_{极限注气}$ 为极限注气深度，m； $Q_{注}$ 为注气量， m^3/d ； $Q_{极限注气}$ 为极限注气量， m^3/d 。

[0077] 步骤S3：方案优选：计算具体举升方式下的实际产量和系统效率，按照目标函数进行方案优选，具体包括如下步骤：

[0078] 步骤S31：优化模型确定，把油井产量和系统效率作为目标变量，结合以上推导的耦合模型得到优化模型为：

$$[0079] \quad \text{目标函数：} Y = \omega_1 Q_o + \omega_2 \eta_{系统} \quad (17)$$

[0080] 优化变量： $Q_{注}$ ， $H_{注}$ ， $H_{扬}$ ， $H_{泵}$

[0081] 式中： Q_o 为油井产量， m^3/d ； $\eta_{系统}$ 为系统效率； ω_1 为产量的权重； ω_2 为系统效率的权重； $H_{扬}$ 为电泵扬程，m； $H_{泵}$ 为电泵下入深度，m； $Q_{注}$ 为注气量， m^3/d ； $H_{注}$ 为注气深度，m；

[0082] 步骤S32：确定油井设计产量；

[0083] 步骤S33：根据设计产量确定井底油层流压 $P_{wf,o}$ ；

[0084] 步骤S34：估计所需气层供气量，即注气量 $Q_{注}$ ；

[0085] 步骤S35：根据气层IPR曲线确定对应的气层流压 $P_{wf,g}$ ；

[0086] 步骤S36：以井底油层流压 $P_{wf,o}$ 、气层流压 $P_{wf,g}$ 为起点，进行井筒多相流动温度场和压力场计算；

[0087] 步骤S37：以井筒多相流动温度场和压力场计算为基础，进行人工举升设计与井筒温度、压力场的耦合分析计算；

[0088] 步骤S38：计算具体举升方式下的实际产量和系统效率，按照目标函数进行方案优选。

[0089] 在给定设计产量 Q 、井口压力 P_{wh} 和已知油层IPR曲线和气层IPR曲线时：

[0090] ①在已知设计产量 Q 的条件下，根据油层流入动态确定油层流压 $P_{wf,o}$ ；

[0091] ②根据下泵约束条件，比如电泵吸入口压力或电泵吸入口气液比、泵最高耐温等初选下部电泵下入深度 $H_{泵}$ ；

[0092] ③从井底流压向上计算井筒压力分布至泵挂深度处，即泵入口压力 P_{in} ；

[0093] ④预先假定一个下部电潜泵的泵出口压力 P_{out} ，根据设计产量 Q 、下部电潜泵的泵

入口压力 P_{in} 、下部电潜泵的泵出口压力 P_{out} ，首先按照清水进行下部电潜泵的设计，在此基础上然后对下部电潜泵进行粘度校正、含气校正、含水校正，计算下部电泵举升实际流体时的泵效，扬程，功率等参数，选择合适的泵机组；

[0094] ⑤以电潜泵的泵出口压力 P_{out} 为起点，把该压力视为连续气举设计时的井底流压，向上计算油管压力分布曲线 $P_t(x)$ ；

[0095] ⑥根据产量 Q ，估计一组注气量 $Q_{注}$ ，根据气层流入动态由 Q_g 确定气层流压 $P_{wf,g}$ ，从井底气层压力沿产气管柱向上计算管柱内的气体压力分布 $P_c(x)$ 。

[0096] ⑦为保证气举的顺利进行，需要克服气举阀的过阀压差 ΔP 。在计算得出油管内压力分布 $P_t(x)$ 与产气管柱内的压力分布 $P_c(x)$ 后，满足下式的对应深度 x 即为注气点深度。

[0097] $P_t(x) = P_c(x) - \Delta P$ (18)

[0098] ⑧以注气点处油管压力为起点，向上计算油管压力分布曲线至地面，计算得到井口油管压力 P'_{wh} ，记录满足 $|P'_{wh} - P_{wh}| < \epsilon$ 的方案；

[0099] ⑨若在设计最大本井供气量 $Q_{max,本井气}$ 条件下计算得到的井口油压始终无法满足设计油压，则应当增加电泵扬程。

[0100] ⑩计算不同泵挂深度下的系统总效率和实际产量并按照目标函数对可行的组合举升方案进行排序，挑选出最优的方案。

[0101] 尽管上面结合附图对本发明的功能及工作过程进行了描述，但本发明并不局限于上述的具体功能和工作过程，上述的具体实施方式仅仅是示意性的，而不是限制性的，本领域的普通技术人员在本发明的启示下，在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下，还可以做出很多形式，这些均属于本发明的保护之内。

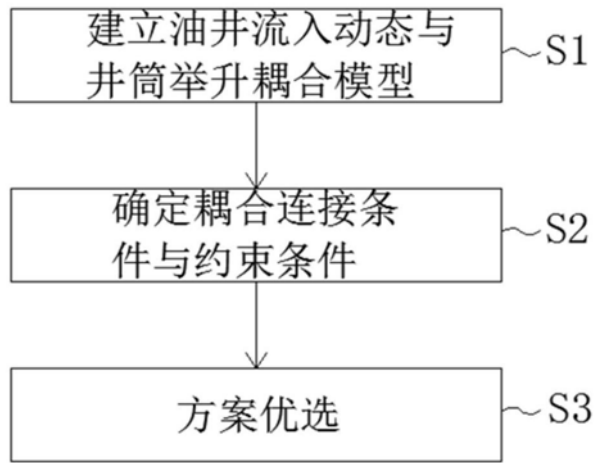


图1