



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112324401 A

(43) 申请公布日 2021.02.05

(21) 申请号 202011103476.X

(22) 申请日 2020.10.15

(71) 申请人 中国地质大学(武汉)

地址 430000 湖北省武汉市洪山区鲁磨路
388号

(72) 发明人 马丁 阚长宾 于晓聪 韩宇
徐启立

(74) 专利代理机构 武汉知产时代知识产权代理
有限公司 42238

代理人 龚春来

(51) Int. Cl.

E21B 43/12 (2006.01)

E21B 47/00 (2012.01)

E21B 47/06 (2012.01)

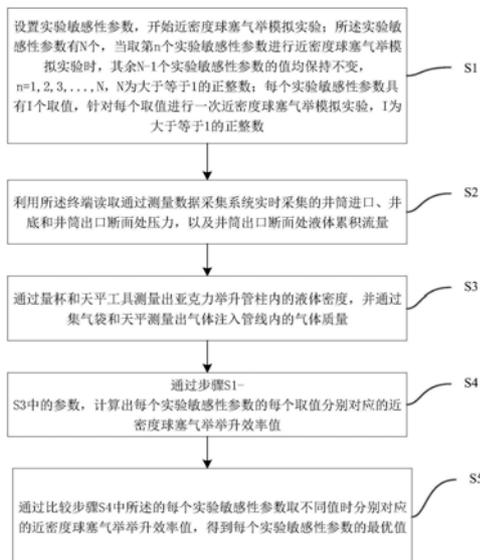
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种近密度球塞气举模拟实验举升系统及效率评价方法

(57) 摘要

本发明提供了一种近密度球塞气举模拟实验举升系统及效率评价方法。设置实验敏感性参数;读取各断面的相关参数;测量出液体密度和气体质量;根据上述参数,计算出每个实验敏感性参数取不同值时分别对应的近密度球塞气举举升效率值;通过比较所述的每个实验敏感性参数取不同值时分别对应的近密度球塞气举举升效率值,得到每个实验敏感性参数的最优值。本发明可有效评估在球塞密度、井斜角等不同实验条件下的近密度球塞气举的举升系统效率。



1. 一种近密度球塞气举模拟实验举升系统,其特征在于,该系统包括:

球塞、球塞出口计时器、球塞入口计时器、上端压力传感器、球塞收球系统、背压阀、电子液体流量计、亚克力举升管柱、下端压力传感器、单流阀、注入气体压力传感器、球塞投球系统、气体流量计、气体注入管线、恒压水箱、测量数据采集系统以及移动终端;

所述亚克力举升管柱用于模拟井筒;

所述球塞出口计时器用于记录球塞出井筒出口的时间;

所述球塞入口计时器用于记录球塞进入井筒底部的时间;

所述球塞收球系统用于收集球塞以及让气液混合物通过;

所述电子液体流量计用于测量井筒出口断面处流出的液体体积;

所述球塞投球系统用于按一定频率往井筒内投入球塞;

所述气体流量计用于测量注入气体体积以及调节注入气体的流量

所述气体注入管线用于连接注汽系统中的空气瓶;所述注汽系统包括空气瓶、调压阀以及管线,用于提供气体;

所述恒压水箱用于补充井筒底部被举升的液体,模拟实际储层情况;

所述上端压力传感器用于测量井筒出口断面处实时压力;

所述下端压力传感器用于测量井筒底部断面处实时压力;

所述注入气体压力传感器用于测量注入井筒进口断面处气体压力;

所述测量数据采集系统用于采集各传感器、流量计以及计时器的数据,并将上述数据发送至移动终端进行显示。

2. 一种近密度球塞气举模拟实验举升效率评价方法,基于如权利要求1所述的一种近密度球塞气举模拟实验举升系统实现,其特征在于:包括以下步骤:

S1、设置实验敏感性参数,开始近密度球塞气举模拟实验;所述实验敏感性参数有N个,当取第n个实验敏感性参数进行近密度球塞气举模拟实验时,其余N-1个实验敏感性参数的值均保持不变, $n=1,2,3,\dots,N$,N为大于等于1的正整数;每个实验敏感性参数具有I个取值,针对每个取值进行一次近密度球塞气举模拟实验,I为大于等于1的正整数;

S2、利用所述移动终端读取通过测量数据采集系统实时采集的井筒进口断面处压力、井筒底部断面处压力和井筒出口断面处压力,以及井筒出口断面处的液体累积流量;

S3、通过量杯和天平工具测量出亚克力举升管柱内的液体密度,并通过集气袋和天平测量出气体注入管线内的气体质量;

S4、通过步骤S1-S3中的参数,计算出每个实验敏感性参数取不同值时分别对应的近密度球塞气举举升效率值;

S5、通过比较步骤S4中所述的每个实验敏感性参数取不同值时分别对应的近密度球塞气举举升效率值,得到每个实验敏感性参数的最优值。

3. 如权利要求2所述的一种近密度球塞气举模拟实验举升效率评价方法,其特征在于:

在步骤S1中,实验敏感性参数包括:近密度球塞的球塞密度、配合间隙、举升管柱粗糙度、球塞表面粗糙度、投球频率、气举压差、井斜角、注汽量变化以及产液量变化。

4. 如权利要求2所述的一种近密度球塞气举模拟实验举升效率评价方法,其特征在于:近密度球塞气举举升效率 η 的计算公式如公式(1)-(7):

$$\eta = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (1)$$

$$E_p = P_{wh} Q_{wh} t_1 \times 16.7 \quad (2)$$

$$E_h = (\rho_l V_1 \times 10^{-3} + m_g + m_q) gL \quad (3)$$

$$E_{out} = (E_p + E_h) C_1 \quad (4)$$

$$E_{in} = P_{wf} Q_{wf} t_2 \times 16.7 \quad (5)$$

$$\text{根据公式 (1) - (5) 可知, } \eta = \frac{[P_{wh} Q_{wh} t_1 \times 16.7 + (\rho_l V_1 \times 10^{-3} + m_g + m_q) gL] C_1}{P_{wf} Q_{wf} t_2 \times 16.7} \quad (6);$$

令 $P_{wh} Q_{wh} t_1 \times 16.7 + (\rho_l V_1 \times 10^{-3} + m_g + m_q) gL = A$, $P_{wf} Q_{wf} \times 16.7 = B$, 由于 $C_1 = (t_2 - t_3) \times f_q = t_2 \times f_q - t_3 \times f_q$, 且令 $t_3 \times f_q = D$, 则, $C_1 = t_2 \times f_q - D$, 因此, $\eta = \frac{A \times f_q}{B} - \frac{D}{B t_2}$, A 、 B 和 D 均为常数, 当

$t_2 \rightarrow \infty$ 时, 根据上述公式可得:

$$\eta = \frac{[P_{wh} Q_{wh} t_1 \times 16.7 + (\rho_l V_1 \times 10^{-3} + m_g + m_q) gL] f_q}{P_{wf} Q_{wf} \times 16.7} \quad (7)$$

其中, 每个气液球混合物在举升过程中的能量损耗相同, E_p 为一个气液球混合物流经井筒出口断面时所具有的压能; P_{wh} 为气体流经上端压力传感器时的压力; Q_{wh} 为注气流量在上端压力传感器处的转换流量; t_1 为一个气液球混合物中的气体流经井筒出口断面处的时间; E_h 为一个气液球混合物流经上端压力传感器时所具有的位能; ρ_l 为被举升液体密度; V_1 为一个气液球混合物中的液体体积; m_g 为一个气液球混合物中的气体质量; m_q 为球塞质量; L 为井筒底部和井筒出口的高度差; E_{out} 为气液球混合物流经井筒出口断面时所具有的总压能和总位能之和; C_1 为投球次数; E_{in} 为从注气系统获得的气体所具有的总能量; P_{wf} 为井筒底部断面的压力; Q_{wf} 为注气流量; t_2 为注气时间, 即从开始投球塞至停止注气的时间; t_3 为停止投球至停止注气的时间, 该值为一固定值; f_q 为投球频率。

5. 如权利要求 2 所述的一种近密度球塞气举模拟实验举升效率评价方法, 其特征在于:

针对任一实验敏感性参数, 比较该实验敏感性参数取不同值时对应的近密度球塞气举举升效率值, 最大的近密度球塞气举举升效率值对应的该实验敏感性参数的取值即为该实验敏感性参数的最优值。

一种近密度球塞气举模拟实验举升系统及效率评价方法

技术领域

[0001] 本发明涉及采油工程技术领域,尤其涉及一种近密度球塞气举模拟实验举升系统及效率评价方法。

背景技术

[0002] 随着气田开发进入后期,出水气井日益增多,排水采气工艺成了很多油气田实现稳产的重要手段。常规气举、柱塞气举等工艺已经无法满足低压出水气井高效率生产的要求,尤其随着老气田地层能量的不断消耗,地层压力大大降低,像泡排、电潜泵等非气举工艺也暴露出了许多难以适应的问题。为了有效提高气井排水采气效率,开发了一种新型的排水采气工艺——球塞气举排水采气工艺。

[0003] 球塞气举排水采气工艺通过气举球塞在气液相之间形成机械界面,达到防止液体滑脱、提高举升效率的目的。而近密度球塞气举技术主要应用与气井产出液密度相同或者相近的高分子球塞,在形成机械界面的基础上,悬浮在液相中随液相一起运动,进一步减小球塞表面和管柱表面之间的摩擦阻力,在举升管柱中实现稳定的段塞流,提高系统的举升效率。

发明内容

[0004] 为了解决上述问题,本发明提供了一种近密度球塞气举模拟实验举升系统及效率评价方法。

[0005] 一种近密度球塞气举模拟实验举升系统,包括:

[0006] 球塞、球塞出口计时器、球塞入口计时器、上端压力传感器、球塞收球系统、背压阀、电子液体流量计、亚克力举升管柱、下端压力传感器、单流阀、注入气体压力传感器、球塞投球系统、气体流量计、气体注入管线、恒压水箱、测量数据采集系统以及移动终端;

[0007] 所述亚克力举升管柱用于模拟井筒;

[0008] 所述球塞出口计时器用于记录球塞出井筒出口的时间;

[0009] 所述球塞入口计时器用于记录球塞进入井筒底部的时间;

[0010] 所述球塞收球系统用于收集球塞以及让气液混合物通过;

[0011] 所述电子液体流量计用于测量井筒出口断面处流出的液体体积;

[0012] 所述球塞投球系统用于按一定频率往井筒内投入球塞;

[0013] 所述气体流量计用于测量注入气体体积以及调节注入气体的流量

[0014] 所述气体注入管线用于连接注汽系统中的空气瓶;所述注汽系统包括空气瓶、调压阀以及管线,用于提供气体;

[0015] 所述恒压水箱用于补充井筒底部被举升的液体,模拟实际储层情况;

[0016] 所述上端压力传感器用于测量井筒出口断面处实时压力;

[0017] 所述下端压力传感器用于测量井筒底部断面处实时压力;

[0018] 所述注入气体压力传感器用于测量注入井筒进口断面处气体压力;

[0019] 所述测量数据采集系统用于采集各传感器、流量计以及计时器的数据,并将上述数据发送至移动终端进行显示。

[0020] 一种近密度球塞气举模拟实验举升效率评价方法,基于所述的一种近密度球塞气举模拟实验举升系统实现,包括以下步骤:

[0021] S1、设置实验敏感性参数,开始近密度球塞气举模拟实验;所述实验敏感性参数有N个,当取第n个实验敏感性参数进行近密度球塞气举模拟实验时,其余N-1个实验敏感性参数的值均保持不变, $n=1,2,3,\dots,N$,N为大于等于1的正整数;每个实验敏感性参数具有I个取值,针对每个取值进行一次近密度球塞气举模拟实验,I为大于等于1的正整数;

[0022] S2、利用所述终端读取通过测量数据采集系统实时采集的井筒进口断面处压力、井筒底部断面处压力和井筒出口断面处压力,以及井筒出口断面处的液体累积流量;

[0023] S3、通过量杯和天平工具测量出亚克力举升管柱内的液体密度,并通过集气袋和天平测量出气体注入管线内的气体质量;

[0024] S4、通过步骤S1-S3中的参数,计算出每个实验敏感性参数取不同值时分别对应的近密度球塞气举举升效率值;

[0025] S5、针对每个实验敏感性参数,通过比较步骤S4中所述的每个实验敏感性参数取不同值时分别对应的近密度球塞气举举升效率值,得到每个实验敏感性参数的最优值。

[0026] 进一步地,在步骤S1中,实验敏感性参数包括:近密度球塞的球塞密度、配合间隙、举升管柱粗糙度、球塞表面粗糙度、投球频率、气举压差、井斜角、注汽量变化以及产液量变化;

[0027] 进一步地,近密度球塞气举举升效率 η 的计算公式如公式(1)-(7):

$$[0028] \quad \eta = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (1)$$

$$[0029] \quad E_p = P_{wh} Q_{wh} t_1 \times 16.7 \quad (2)$$

$$[0030] \quad E_h = (\rho_1 V_1 \times 10^{-3} + m_g + m_q) gL \quad (3)$$

$$[0031] \quad E_{out} = (E_p + E_h) C_1 \quad (4)$$

$$[0032] \quad E_{in} = P_{wf} Q_{wf} t_2 \times 16.7 \quad (5)$$

$$[0033] \quad \text{根据公式(1)-(5)可知,} \eta = \frac{[P_{wh} Q_{wh} t_1 \times 16.7 + (\rho_1 V_1 \times 10^{-3} + m_g + m_q) gL] C_1}{P_{wf} Q_{wf} t_2 \times 16.7} \quad (6);$$

[0034] 令 $P_{wh} Q_{wh} t_1 \times 16.7 + (\rho_1 V_1 \times 10^{-3} + m_g + m_q) gL = A$, $P_{wf} Q_{wf} \times 16.7 = B$, 由于 $C_1 = (t_2 - t_3) \times f_q = t_2 \times f_q - t_3 \times f_q$, 且令 $t_3 \times f_q = D$, 则, $C_1 = t_2 \times f_q - D$, 因此, $\eta = \frac{A \times f_q}{B} - \frac{D}{B t_2}$, A、B和D均为常

数,当 $t_2 \rightarrow \infty$ 时,根据上述公式可得:

$$[0035] \quad \eta = \frac{[P_{wh} Q_{wh} t_1 \times 16.7 + (\rho_1 V_1 \times 10^{-3} + m_g + m_q) gL] f_q}{P_{wf} Q_{wf} \times 16.7} \quad (7)$$

[0036] 其中,每个气液球混合物在举升过程中的能量损耗相同, E_p 为一个气液球混合物流经井筒出口断面时所具有的压能; P_{wh} 为气体流经上端压力传感器时的压力; Q_{wh} 为注气流量在上端压力传感器处的转换流量; t_1 为一个气液球混合物中的气体流经井筒出口断面处的时间; E_h 为一个气液球混合物流经上端压力传感器时所具有的位能; ρ_1 为被举升液体密

度; V_1 为一个气液球混合物中的液体体积; m_g 为一个气液球混合物中的气体质量; m_q 为球塞质量; L 为井筒底部和井筒出口的高度差; E_{out} 为气液球混物流经井筒出口断面时所具有的总压能和总位能之和; C_1 为投球次数; E_{in} 为从注气系统获得的气体所具有的总能量; P_{wf} 为井筒底部断面的压力; Q_{wf} 为注气流量; t_2 为注气时间,即从开始投球塞至停止注气的时间; t_3 为停止投球至停止注气的时间,该值为一个固定值; f_q 为投球频率;

[0037] 进一步地,针对任一实验敏感性参数,比较该实验敏感性参数取不同值时对应的近密度球塞气举举升效率值,最大的近密度球塞气举举升效率值对应的该实验敏感性参数的取值即为该实验敏感性参数的最优值。

[0038] 本发明提供的技术方案带来的有益效果是:可有效评估在球塞密度、井斜角等不同实验条件下的近密度球塞气举的举升系统效率,具体包括:

[0039] 1、通过优化举升效率计算公式,从而优化了举升效率评价方法,缩短了近密度球塞气举模拟实验的时间;

[0040] 2、考虑了满足最后一组球塞举升条件所消耗的那部分气体压能,使举升效率结果更加准确;

[0041] 3、可有效评价现场工程实践的举升效率,从而合理调整生产工艺的影响因素。

附图说明

[0042] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明,附图中:

[0043] 图1是本发明实施例中一种近密度球塞气举模拟实验举升效率评价方法的流程图;

[0044] 图2是本发明实施例中一种近密度球塞气举模拟实验举升系统的结构示意图;

[0045] 图3是本实施例中球塞气举举升过程中气液球三相流动稳定时的示意图。

具体实施方式

[0046] 为了对本发明的技术特征、目的和效果有更加清楚的理解,现对照附图详细说明本发明的具体实施方式。

[0047] 本发明的实施例提供了一种近密度球塞气举模拟实验举升系统及效率评价方法。

[0048] 请参考图2,图2是本发明实施例中一种近密度球塞气举模拟实验举升系统的结构示意图,该系统包括:

[0049] 球塞、球塞出口计时器1、球塞入口计时器2、上端压力传感器3、球塞收球系统4、背压阀5、电子液体流量计6、亚克力举升管柱7、下端压力传感器8、单流阀9、注入气体压力传感器10、球塞投球系统11、气体流量计12、气体注入管线13、恒压水箱14、测量数据采集系统15以及移动终端16;

[0050] 所述亚克力举升管柱7用于模拟井筒;

[0051] 所述球塞出口计时器1用于记录球塞出井筒出口的时间;

[0052] 所述球塞入口计时器2用于记录球塞进入井筒底部的时间;

[0053] 所述上端压力传感器3用于测量井筒出口断面处实时压力;

[0054] 所述球塞收球系统4用于收集球塞以及让气液混合物通过;

[0055] 所述背压阀5用于调节井筒内回压;

- [0056] 所述电子液体流量6计用于测量井筒出口断面处流出的液体体积；
- [0057] 所述下端压力传感器8用于测量井筒底部断面处实时压力；
- [0058] 所述单流阀9用于防止井筒内液体回流；
- [0059] 所述注入气体压力传感器10用于测量注入井筒进口断面处气体压力；
- [0060] 所述球塞投球系统11用于按一定频率往井筒内投入球塞；
- [0061] 所述气体流量计12用于测量注入气体体积以及调节注入气体的流量
- [0062] 所述气体注入管线13用于连接注汽系统中的高压空气瓶；所述注汽系统包括高压空气瓶、高压调压阀以及高压管线，用于提供气体；
- [0063] 所述恒压水箱14用于补充井筒底部被举升的液体，模拟实际储层情况；
- [0064] 所述测量数据采集系统15用于采集各传感器、流量计以及计时器的数据，并将上述数据发送至移动终端16进行显示；
- [0065] 所述终端16用于接收测量数据采集系统15发送的数据并显示；所述移动终端为电脑；
- [0066] 其中，气体注入管线13分别与气体流量计12和气体压力传感器10相连通，亚克力举升管柱7的底部（井筒底部）分别与恒压水箱14和压力传感器8相连通，亚克力举升管柱7的入口端分别与球塞投球系统11和单流阀9相连通，亚克力举升管柱7的顶端（井筒出口）分别与球塞收球系统4和上端压力传感器3相连通，亚克力举升管柱7的出口端分别与背压阀5和液体流量计6连通。
- [0067] 请参考图1，图1是本发明实施例中一种近密度球塞气举模拟实验举升效率评价方法的流程图；一种近密度球塞气举模拟实验举升效率评价方法，基于所述的一种近密度球塞气举模拟实验举升系统实现，其特征在于：包括以下步骤：
- [0068] S1、设置实验敏感性参数，开始近密度球塞气举模拟实验；所述实验敏感性参数有N个，当取第n个实验敏感性参数进行近密度球塞气举模拟实验时，其余N-1个实验敏感性参数的值均保持不变， $n=1, 2, 3, \dots, N$ ，N为大于等于1的正整数；每个实验敏感性参数具有I个取值，针对每个取值进行一次近密度球塞气举模拟实验，I为大于等于1的正整数；
- [0069] 实验敏感性参数包括：近密度球塞的球塞密度、配合间隙、举升管柱粗糙度、球塞表面粗糙度、投球频率、气举压差、井斜角、注汽量变化以及产液量变化；
- [0070] 所述近密度球塞气举模拟实验包含若干组，每一组近密度球塞气举模拟实验中，只改变上述其中一个敏感性参数的值，控制剩余的敏感性参数值不变，来研究举升效率随着任一敏感性参数值变化的情况，从而获得各实验敏感性参数的最优值；比如，需要探索举升效率随近密度球塞的球塞密度变化的情况，在步骤S1中只需要控制除近密度球塞的球塞密度之外的实验敏感参数值不变，改变近密度球塞的球塞密度的取值即可，例如球塞密度的取值可为：球塞密度的值大于液体密度、等于液体密度（密度差值可达到 $<0.001\text{g/cm}^3$ ）和小于气体密度三种情况；
- [0071] S2、利用所述终端读取通过测量数据采集系统实时采集的井筒进口断面处压力、井筒底部断面处压力和井筒出口断面处压力，以及井筒出口断面处的液体累积流量；数据采集时间间隔设置为1s；
- [0072] S3、通过量杯和天平工具测量出亚克力举升管柱内的液体密度，并通过集气袋和天平测量出气体注入管线内的气体质量；

[0073] S4、通过步骤S1-S3中的参数,计算出每个实验敏感性参数取不同值时分别对应的近密度球塞气举举升效率值;

[0074] 近密度球塞气举举升效率 η 的计算公式如公式(1)-(7):

$$[0075] \quad \eta = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (1)$$

$$[0076] \quad E_p = P_{wh} Q_{wh} t_1 \times 16.7 \quad (2)$$

$$[0077] \quad E_h = (\rho_1 V_1 \times 10^{-3} + m_g + m_q) g L \quad (3)$$

$$[0078] \quad E_{out} = (E_p + E_h) C_1 \quad (4)$$

$$[0079] \quad E_{in} = P_{wf} Q_{wf} t_2 \times 16.7 \quad (5)$$

$$[0080] \quad \text{根据公式(1)-(5)可知, } \eta = \frac{[P_{wh} Q_{wh} t_1 \times 16.7 + (\rho_1 V_1 \times 10^{-3} + m_g + m_q) g L] C_1}{P_{wf} Q_{wf} t_2 \times 16.7} \quad (6);$$

[0081] 令 $P_{wh} Q_{wh} t_1 \times 16.7 + (\rho_1 V_1 \times 10^{-3} + m_g + m_q) g L = A$, $P_{wf} Q_{wf} \times 16.7 = B$, 由于 $C_1 = (t_2 - t_3) \times f_q = t_2 \times f_q - t_3 \times f_q$, 且令 $t_3 \times f_q = D$, 则, $C_1 = t_2 \times f_q - D$, 因此, $\eta = \frac{A \times f_q}{B} - \frac{D}{B t_2}$, A、B和D均为常数, 当 $t_2 \rightarrow \infty$ 时, 根据上述公式可得:

$$[0082] \quad \eta = \frac{[P_{wh} Q_{wh} t_1 \times 16.7 + (\rho_1 V_1 \times 10^{-3} + m_g + m_q) g L] f_q}{P_{wf} Q_{wf} \times 16.7} \quad (7)$$

[0083] 其中, 每个气液球混合物在举升过程中的能量损耗相同, E_p 为一个气液球混合物流经井筒出口断面时所具有的压能; P_{wh} 为气体流经上端压力传感器时的压力; Q_{wh} 为注气流量在上端压力传感器处的转换流量; t_1 为一个气液球混合物中的气体流经井筒出口断面处的时间; E_h 为一个气液球混合物流经上端压力传感器时所具有的位能; ρ_1 为被举升液体密度; V_1 为一个气液球混合物中的液体体积; m_g 为一个气液球混合物中的气体质量; m_q 为球塞质量; L 为井筒底部和井筒出口的高度差; E_{out} 为气液球混合物流经井筒出口断面时所具有的总压能和总位能之和; C_1 为投球次数; E_{in} 为从注气系统获得的气体所具有的总能量; P_{wf} 为井筒底部断面的压力; Q_{wf} 为注气流量; t_2 为注气时间, 即从开始投球塞至停止注气的时间; t_3 为停止投球至停止注气的时间, 该值为一固定值; f_q 为投球频率;

[0084] 本实施例中, 所述气体为空气, 所述液体为水, 所述气液球混合物中的气体和液体分别为空气和水。

[0085] S5、针对每个实验敏感性参数, 通过比较步骤S4中所述的每个实验敏感性参数取不同值时分别对应的近密度球塞气举举升效率值, 得到每个实验敏感性参数的最优值;

[0086] 针对任一实验敏感性参数, 比较该实验敏感性参数取不同值时对应的近密度球塞气举举升效率值, 最大的近密度球塞气举举升效率值对应的该实验敏感性参数的取值即为该实验敏感性参数的最优值。

[0087] 本实施例中, 需要探索举升效率随近密度球塞的球塞密度、配合间隙、举升管柱粗糙度、球塞表面粗糙度、投球频率、气举压差、井斜角、注汽量变化以及产液量变化的情况; 当研究举升效率随近密度球塞的球塞密度变化的情况时, 在步骤S1中只需要控制除近密度球塞的球塞密度之外的实验敏感参数值不变, 改变近密度球塞的球塞密度的取值即可, 例如球塞密度的取值可为: 球塞密度的值大于液体密度、等于液体密度(密度差值可达到<

0.001g/cm³) 和小于气体密度三种情况,且三种情况下,球塞密度的取值分别为 x_1 、 x_2 和 x_3 ;当球塞密度的取值大于液体密度时,执行步骤S2、S3和S4后,可获得球塞密度取值为 x_1 时对应的举升效率值 y_1 ;当球塞密度的取值等于液体密度时,执行步骤S2、S3和S4后,可获得球塞密度取值为 x_2 时对应的举升效率值 y_2 ;当球塞密度的取值小于气体密度时,执行步骤S2、S3和S4后,可获得球塞密度取值为 x_3 时对应的举升效率值 y_3 ;比较 y_1 、 y_2 和 y_3 的大小,最大的一个对应的球塞密度取值则为球塞密度的最优值;假如 y_2 最大,则球塞密度的最优值为 x_2 ;其它实验敏感性参数取不同值时对应的近密度球塞气举举升效率值和各实验敏感性参数对应的最优值通过上述步骤一样即可求得。

[0088] 请参考图3,图3是本实施例中球塞气举举升过程中气液球三相流动稳定时的示意图,球塞连续气举举升过程中气液球三相流动过程具体为:

[0089] ①气、液、球三相流动未稳定时,由于球塞的界面作用,降低了气液混合物上升的速度,气体逐渐从混合物中分离并聚集在上一球塞下面,而液体则聚集在下一球塞上部;

[0090] ②气、液、球三相流动达到稳定时,相邻球塞之间呈两段结构:气段、液段两段以球塞界面为分界面。

[0091] 本发明的有益效果是:可有效评估在球塞密度、井斜角等不同实验条件下的近密度球塞气举的举升系统效率,具体包括:

[0092] 1、通过优化举升效率计算公式,从而优化了举升效率评价方法,缩短了近密度球塞气举模拟实验的时间;

[0093] 2、考虑了满足最后一组球塞举升条件所消耗的那部分气体压能,使举升效率结果更加准确;

[0094] 3、可有效评价现场工程实践的举升效率,从而合理调整生产工艺的影响因。

[0095] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

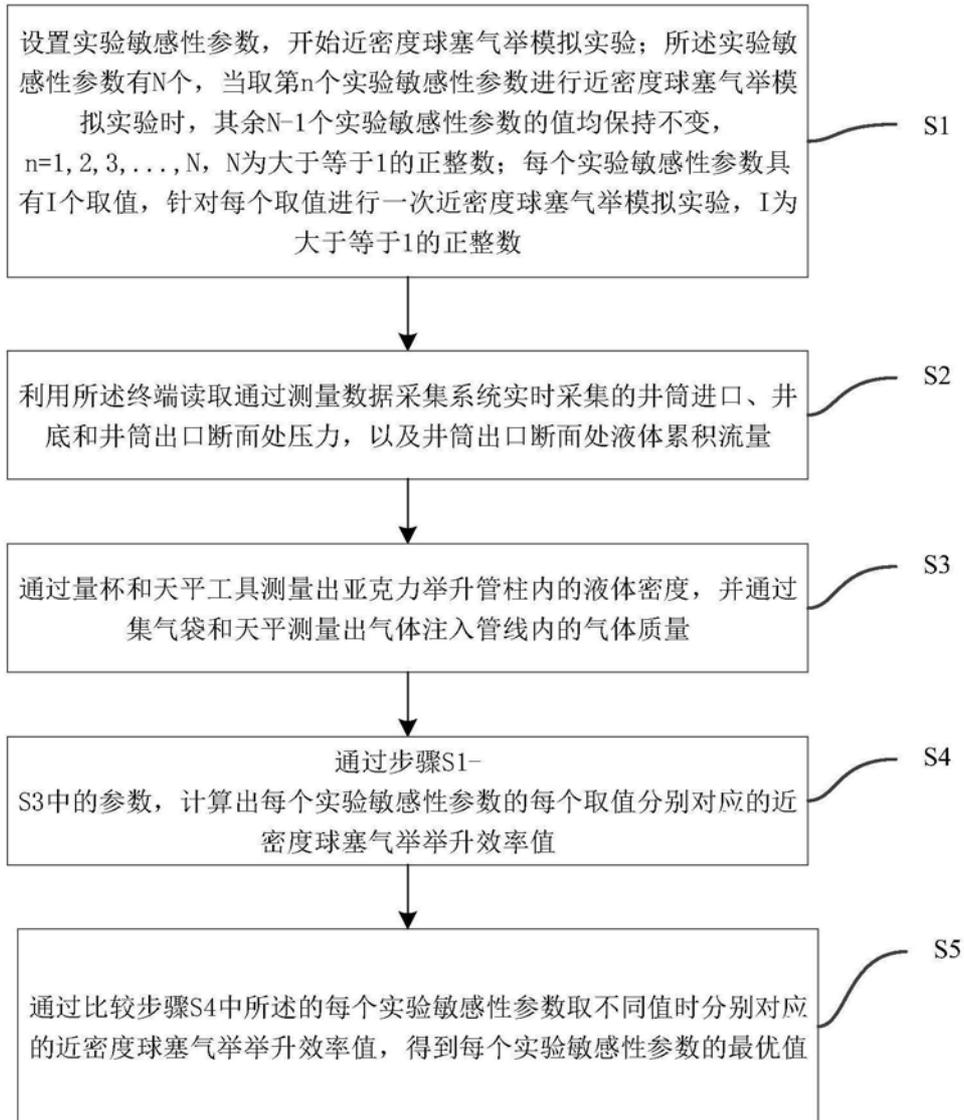


图1

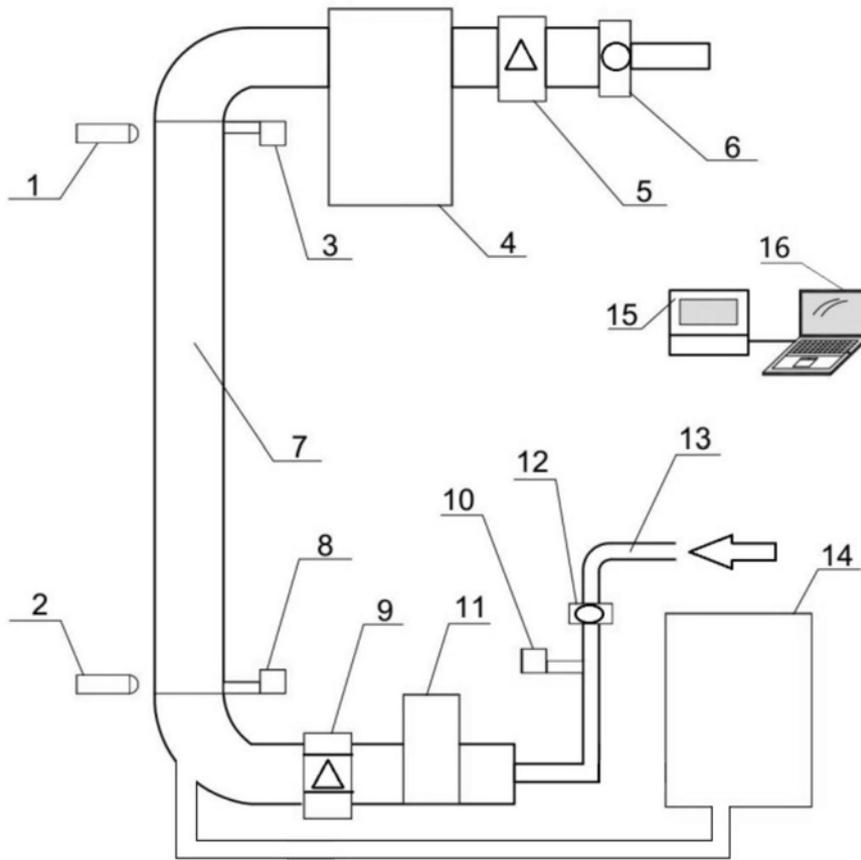


图2

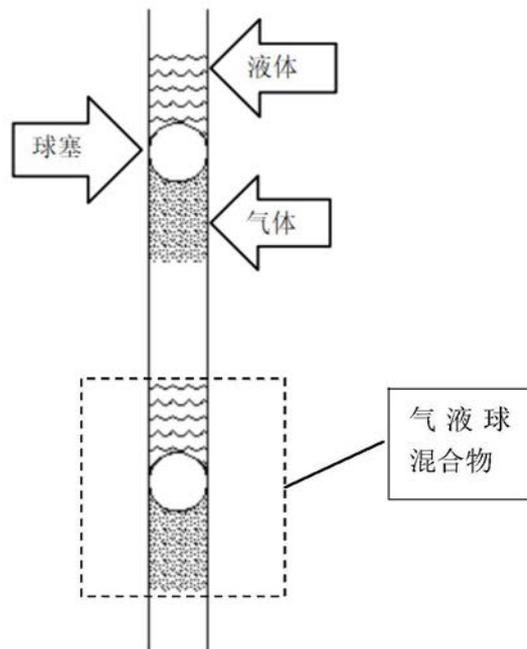


图3