



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101978372 B

(45) 授权公告日 2013. 11. 06

(21) 申请号 200980105992. 1

(22) 申请日 2009. 02. 03

(30) 优先权数据

61/030, 877 2008. 02. 22 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 08. 20

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/032946 2009. 02. 03

(87) PCT申请的公布数据

W02009/105330 EN 2009. 08. 27

(73) 专利权人 M-I 有限公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 弗朗西斯科·弗拉加奇恩

阿德里安娜·奥瓦列

塔尔加特·A·绍哈诺夫

维亚切斯拉夫·阿诺欣

安德烈亚·阿尔巴

肯尼思·G·诺尔特

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

代理人 张成新

(51) Int. Cl.

G06F 17/50(2006. 01)

E21B 21/08(2006. 01)

(56) 对比文件

US 6394194 B1, 2002. 05. 28, 全文.

CN 1930366 A, 2007. 03. 14, 全文.

Ahmed S. Abou-Sayed. Design

Considerations in Drill Cuttings

Re-Injection Through Downhole Fracturing.

《IADC/SPE Middle East Drilling

Technology》. 2001, P. 1-9.

审查员 吴鑫

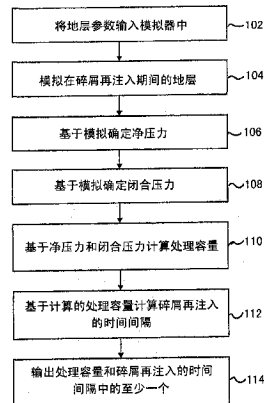
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称

确定井处理容量的方法

(57) 摘要

公开了一种用于确定地层中钻屑处理的最大量的方法,所述方法包括:在模拟器中输入地层参数,基于所述地层参数在废料注入期间模拟出地层,基于所述模拟确定出净压力,基于所述模拟确定出闭合压力的增大值,基于所述净压力和所述闭合压力计算出处理容量,基于已算出的注入量计算出废料注入的时间间隔,并输出处理容量和时间间隔的至少一个。还公开了一种优化废料注入过程的方法,所述方法包括基于输入参数模拟出地层,基于所述模拟确定出每单位泥浆量注入后的闭合压力的增大值,计算出所选地层的处理容量,并输出所述处理容量。



1. 一种用于确定地层中钻屑处理的最大体积的方法,所述方法包括:
将地层参数输入模拟器中的步骤;
基于地层参数模拟在废料注入期间地层的步骤;
基于所述模拟确定净压力的步骤;
基于所述模拟确定闭合压力的增大值的步骤;
基于所述净压力和闭合压力计算处理体积的步骤;
基于计算的注入体积计算废料注入的时间间隔的步骤;以及
输出处理体积和时间间隔中的至少一个的步骤,其中计算处理体积的步骤包括计算在达到上覆层压力之前的最大注入量或注入体积,
其中计算处理体积的步骤包括确定上覆层压力和地层在初始闭合压力处的初始最小压力之间的差值。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其中地层参数包括测井和取心数据。
3. 如权利要求 1 所述的方法,还包括将体积基本等于所计算的处理体积的泥浆注入地层中。
4. 如权利要求 1 所述的方法,其中地层参数包括选自下面的组中的至少一个:杨氏模量,泊松比,地层压力,注入地层温度,和渗漏系数。
5. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述模拟的步骤包括模拟所述地层的三维水力压裂。
6. 如权利要求 1 所述的方法,还包括将批次注入参数输入模拟器中。
7. 如权利要求 1 所述的方法,其中确定闭合压力的增大值的步骤包括确定泥浆中碎屑的量或体积。
8. 一种用于确定所选地层最大存储容量的方法,所述方法包括下列步骤:
确定在预定时间间隔期间的闭合压力的步骤;
确定预测的压力行为或特性的步骤,其中所述确定的步骤包括:
将地层参数和初始闭合压力输入至模拟器的步骤;
模拟废料注入期间的所选地层的步骤;以及
预测基本等于上覆层压力的闭合压力值的步骤;
基于确定预测的压力行为或特性的步骤确定处理容量的步骤;以及
输出所述处理容量的步骤,
其中确定处理容量的步骤包括确定每单位体积泥浆引起的闭合压力的增大值,还包括确定上覆层压力和通过经验确定的闭合压力之间的差值。
9. 如权利要求 8 所述的方法,其中确定预测的压力行为或特性的步骤包括基于经验数据生成闭合压力的趋势。
10. 如权利要求 8 所述的方法,还包括基于计算的注入体积确定废料注入的时间间隔。
11. 如权利要求 8 所述的方法,还包括将体积基本等于处理容量的泥浆注入地层中。
12. 如权利要求 8 所述的方法,其中确定在预定时间间隔期间的闭合压力的步骤包括获取过去真实的废料注入过程的经验数据。
13. 如权利要求 8 所述的方法,其中地层参数包括选自下面的组中的至少一个:杨氏模量,泊松比,地层压力,注入地层的温度,和渗漏系数。

14. 一种优化废料注入过程的方法,所述方法包括:
基于输入参数模拟地层的步骤;
基于所述模拟确定每单位体积泥浆引起的闭合压力的增大值的步骤;
计算所选地层的处理容量的步骤;以及
输出所述处理容量的步骤,其中计算所选地层的处理容量的步骤包括确定上覆层压力和初始闭合压力之间的差值。
15. 如权利要求 14 所述的方法,其中所述输入参数包括选自地层参数和分批注入参数中的至少一个。
16. 如权利要求 14 所述的方法,还包括根据计算的处理容量执行裂缝安全模拟或验证模拟。
17. 如权利要求 14 所述的方法,还包括基于注入操作期间的实际压力响应校准所确定的闭合压力的增大值。

确定井处理容量的方法

技术领域

[0001] 本文中公开的实施方式通常涉及确定井处理容量的方法。更具体地,本文中公开的实施方式大体涉及确定注入废料过程中在所选地层中的最大注入量或注入体积。

背景技术

[0002] 废料注入 (WI) 过程涉及对钻井废料的收集以及将其从钻井架上的固体控制设备传输至泥浆单元。然后泥浆单元在存在流体的情况下将碎屑研磨成微粒而生成泥浆。然后将该泥浆传输至泥浆贮存罐以作调节。该调节过程影响泥浆的流动能力 (rheology), 生成“调节后的泥浆”。然后将该调节后的泥浆泵入处理井中或在高压下通过套管环形空间 (casing annulus) 泵入地层 (通常称为处理地层) 中的次表层裂缝中。该调节后的泥浆可以分批次间歇地注入该处理地层中。通常这种分批注入过程包括注入相同体积的调节后的泥浆的步骤和在每次注入后等待一段时间 (例如关井时间) 的步骤。每批次注入可以持续几个小时至几天或更长的时间, 这依赖于每批次体积和注入速率。

[0003] 分批注入处理 (即, 将调节后的泥浆注入处理地层和随后在注入后等待一段时间) 使得该裂缝闭合并可在某种程度上耗散在被处理的地层中的压力聚集。然而, 通常被处理的地层中的压力会由于所注入的固体的存在而增大 (即, 在钻屑泥浆中存在的固体)。

[0004] 在大型的 WI 过程中, 必须避免将废料排放到自然环境中, 并且必须确保对废弃品的控制以满足严厉政府规定。在这些操作的执行过程中所考虑的重要的控制因子包括: 注入废料的位置以及用于存储的机制; 注入井或注入环形空间的容量; 注入应当继续在当前区域进行还是应该在另一区域中进行; 是否应当钻出另一处理井; 以及对于适当的废料控制所必需的操作参数。

[0005] WI 操作的模拟以及处理的废料程度或范围的预测被用于解决这些限制因素, 并用以确保处理的废料的安全性和合法性。断裂的模拟和预测也被用于研究 WI 操作对未来钻井的影响, 例如所需的井的空间, 地层压力的增加, 等等。对于预测所注入的调节后的泥浆的可能范围以及预测注入井的处理容量来说, 对 WI 操作中存储机制彻底的理解可也是重要的。

[0006] 由此可见, 存在对井处理容量更精确估计或评估的需要。

发明内容

[0007] 在一方面, 本文所公开的实施方式涉及一种用于确定地层中钻屑处理的最大体积的方法, 所述方法包括: 将地层参数输入模拟器中的步骤; 基于地层参数模拟在废料注入期间地层的步骤; 基于所述模拟确定净压力的步骤; 基于所述模拟确定闭合压力的增大值的步骤; 基于所述净压力和闭合压力计算处理体积的步骤; 基于计算的注入体积计算废料注入的时间间隔的步骤; 以及输出处理体积和时间间隔中的至少一个的步骤。

[0008] 在另一方面, 本文所公开的实施方式涉及一种用于确定所选地层最大存储容量的方法, 所述方法包括下列步骤: 确定在预定时间间隔期间的闭合压力的步骤; 确定预测的

压力行为或特性的步骤,其中所述确定的步骤包括:将地层参数和初始闭合压力输入至模拟器的步骤;模拟废料注入期间的所选地层的步骤;以及预测基本等于上覆层压力的闭合压力值的步骤;基于确定预测的压力行为或特性的步骤确定处理容量的步骤;以及输出所述处理容量的步骤。

[0009] 在另一方面,本文所公开的实施方式涉及一种优化废料注入过程的方法,所述方法包括:基于输入参数模拟地层的步骤;基于所述模拟确定每单位体积泥浆引起的闭合压力的增大值的步骤;计算所选地层的处理容量的步骤;以及输出所述处理容量的步骤。

附图说明

[0010] 图 1 示出了根据本文所公开实施方式的确定地层的处理容量的方法,其中实际压力数据不可用。

[0011] 图 2 示出了根据本文所公开实施方式的基于废料注入过程的实际压力数据确定地层的处理量的方法。

[0012] 图 3 示出了根据本文所公开实施方式的确定废料注入操作中地层侧处理量的方法。

[0013] 图 4 示出了图 3 中公开方法的示意图。

[0014] 图 5 示出根据本文所公开实施方式的填充分数随泥浆中固体浓度的变化图。

[0015] 图 6 示出根据本文所公开实施方式的填充分数随泥浆中固体浓度的变化图。

[0016] 图 7 是根据本文所公开实施方式的两个泥浆批次的井底压力随时间变化曲线。

[0017] 图 8 示出根据本文所公开实施方式的固体处理容量的可能性或置信区间与将要注入的井的数量。

具体实施方式

[0018] 在一个方面,本文所公开的实施方式涉及评价钻井废料处理所选地层的存储容量的方法。在另一方面,本文所公开的实施方式涉及基于实际的废料注入数据,评价钻井废料处理所选地层的存储容量的方法。在另一方面,本文所公开的实施方式涉及评价废料注入的时间间隔的方法。

[0019] 现在参考图 1,示出了根据本发明所公开的实施方式的用于确定在地层中钻屑处理的最大体积的方法。如果废料注入压力的实际数据不可用时,可以采用如图 1 所示的方法确定或估计在地层中钻屑处理的最大体积或所选地层的容量,如图 1 所示。

[0020] 如图 1 所示,将所选地层的参数输入到模拟器 102。该模拟器可以包括现有技术中已知的用于模拟地层压裂的任何模拟器。在一种实施方式中,该模拟器可以包括三维水力压裂模拟器。商业上可用的水力压裂模拟器包括,例如, TerraTek[®] (盐湖城,犹他州)生产的 TerraIFRAC[®], Schlumberger (休斯顿,德克萨斯州)生产的 FracCADE[®],以及 Meyer and Associates, Inc (纳特罗纳,宾夕法尼亚州)生产的 MFRAC[™]。该模拟器可包括数字建模,三维建模,并且可能模拟在废料注入期间地层裂缝或断裂的发育过程。

[0021] 地层参数可包括地层的地质特性,例如杨氏模量,泊松比,地层应力,地层压力,注入地层的温度,和渗漏系数。本文中的渗漏是指液体移动至断裂面。其他的地层参数还包括地层类型、岩层硬度、地层强度以及可塑性。地层参数可从测井设备或钻取土样

设备中获得,或从本领域中用于确定地层特性的其他设备中获得,例如随钻测井设备以及随钻测量设备。

[0022] 在将地层参数输入到模拟器 102 之后,执行模拟过程 104,模拟在废料注入工艺或过程期间所选地层的水力压裂。在一种实施方式中,还可将分批注入参数输入到模拟器中。分批注入参数可以包括,例如,注入地层的废料的批次数量,将要注入地层中的泥浆(固体碎屑加上流体)容积或量,以及该泥浆的材质。例如,在一个实施例中,模拟器的操作者可具体指定 600 桶泥浆的注入量,其中该泥浆包括大约 20%的固体,用于该地层的水力压裂建模或模拟。本领域的普通技术人员将认识到,也可使用或输入其他分批注入参数组合,这依赖于例如所选地层和为注入所准备的废料的量。

[0023] 在一种实施方式中,在废料注入期间对地层的模拟 104 可被用于依据关闭泵之后模拟的压力下降而确定地层裂缝的闭合压力, P_{cl} 。可选的,根据该模拟,可确定在注入裂缝结束时的净压力 P_{net} 106,并且随后用其确定闭合压力 108。闭合压力的增大与净压力的增大的比例系数为 0.005。换句话讲,闭合压力的增大可被估算为大约等于净压力增大的 0.5%。用于确定闭合压力增大的系数,即 0.005 或 0.5%,对应于裂缝填充组成中的固体的百分比,并已经从多个 WI 工程中实际得出。因此,闭合压力的增大可通过下述等式 1 确定:

$$[0024] \quad P_{net} \times 0.005 = P_{cl} \text{ 增大} \quad (1)$$

[0025] 其中在注入结束时确定净压力,在每一批次注入中确定闭合压力的增大。因此,回头参考上述示例,其中含有 20%固体的 600 桶泥浆的注入批次被输入模拟器中,该模拟器可模拟或预测大约为 140psi 的净压力。因此,在此示例中,闭合压力可确定为大约 0.7psi。

[0026] 然后,等式 2-5 可用于确定处理量或地层 110 的泥浆最大注入量。在一种实施方式中,这些计算可被编进模拟器中。可选地,独立的数值模拟器可用于执行下述计算。首先,如等式 2 所示,可确定泥浆中碎屑的体积 V_{ctgs} :

$$[0027] \quad \text{泥浆的分批注入体积} \times \text{泥浆中碎屑百分比} = V_{ctgs} \quad (2)$$

[0028] 因此,继续前面的示例,对于具有 600 桶泥浆的一批泥浆注入来说,其中泥浆包括 20%的碎屑,泥浆中碎屑量为 120 桶。

[0029] 然后,可以确定每单位的注入泥浆量的闭合压力的增大,例如每桶泥浆的闭合压力的增大,如下式:

$$[0030] \quad P_{cl} \text{ 每批次注入压力的增长} / V_{ctgs} = P_{cl} \text{ 的增长} \quad (3)$$

[0031] 例如,如上所确定的,如果每 600 桶泥浆注入批次的闭合压力的增大为 0.7psi,并且泥浆中碎屑量为 120 桶,然后每注入一桶碎屑量,闭合压力增长 0.00583psi/bbl。

[0032] 然后,可计算出上覆层压力 P_{ovb} 和在初始闭合压力下用于注入的地层的初始最小压力之间的差值 D1。正如本文中所介绍的,上覆层压力是指由地层或覆盖在该区域上的岩石施加到次表层中的该区域或关注的点的压力。该上覆层压力和初始最小应力可根据地层的水力压裂模拟确定或输出。例如,水力压裂模拟包括上述示例的参数,可得出 5709psi 的上覆层压力以及 4318psi 的初始最小压力。因此,当前示例中上覆层压力和初始最小压力之间的差值为 1391psi。

[0033] 因此,所选地层中碎屑的处理量可由下面的等式 4 确定。

$$[0034] \quad D1/P_{cl} \text{ 的增大} = \text{碎屑处理量} \quad (4)$$

[0035] 参考上述示例性算式,其中上覆层压力和地层初始最小压力的差值为 1391psi,并且每桶泥浆量的闭合压力增大为 0.00583psi/bbl,因此碎屑处理量为 238,457bbls。

[0036] 在步骤 110,使用等式 4 计算的碎屑处理量,可使用等式 5 确定所选地层中泥浆的处理量,

[0037] 碎屑处理量 / 泥浆中碎屑百分比 = 泥浆处理量 (5)

[0038] 因此,在上述示例中,在碎屑处理量为 238457bbls 并且泥浆中碎屑百分比值为 20%的情况下,泥浆处理量为 1192286bbls。

[0039] 在步骤 112,基于计算出的泥浆处理量,可计算废料注入的时间间隔。通过将确定的泥浆处理量除以注入的平均时间确定所述时间间隔。注入的平均时间可通过平均化多次过去真实的废料注入过程的注入时间来获得,或可以是本领域中已知的并用作泥浆平均注入时间的值。例如,废料注入过程的平均时间可为大约每天 1500 桶。因此,在上述示例中,若泥浆处理量为 1192286,估计出的用于注入该确定的泥浆处理量的时间为 795 天。

[0040] 在一种实施方式中,在步骤 114,水力压裂模拟器或数字模拟器可输出泥浆处理量和用于废料注入的时间间隔中的至少一个。基于该输出数据,可执行废料注入过程,将对应于确定的和输出的泥浆处理量和 / 或时间间隔的一定量的泥浆注入地层中。

[0041] 本领域的普通技术人员应该知晓,上面估计的、设定的以及计算的示例和参数的值仅为根据本文所公开实施方式的确定并处理量的方法的示例,而不是限制本发明实施方式的范围。

[0042] 现在参考图 2,示出了一种根据本文所公开实施方式的用于确定地层中钻屑处理的最大体积的方法。可以基于废料注入过程的时间间隔上实际真正或实际的数据,使用图 2 所示出的方法,确定或估计出在地层中钻屑处理的最大体积或所选择地层的容量。

[0043] 根据图 2 的方法,在步骤 220,确定预选定的时间间隔的废料注入过程的闭合压力。例如,在一个实施方式中,基于在废料注入过程中测量的经验数据可以确定在一个月或多个月的注入期间估计的闭合压力的值。经验确定的闭合压力可通过本领域中已知的任何方法来确定,例如,通过压力计和基于废料注入期间的压力信号的压力估计。

[0044] 接下来,在步骤 222,确定压裂地层的预测压力行为。在一个实施方式中,通过将地层参数和实际的闭合压力输入到模拟器 224、在废料注入过程中模拟所选的地层 226 并预测基本上等于上覆层压力的闭合压力值 228 可以确定预测的压力行为或特性。在此实施方式中,模拟器可包括简单预测模拟器,例如,数值模拟器,其能够基于输入的数据(例如经验数据)生成或预测趋势。

[0045] 在一个实施方式中,输入到模拟器中的地层参数 224 可包括,例如,杨氏模量,泊松比,地层应力,地层压力,注入地层的温度,和渗透系数,地层类型,岩层硬度,地层强度,和可塑性。输入模拟器的实际闭合压力对应于废料注入过程的预选定的时间间隔期间的的时间值。然后还可以运行该模拟器 226 以基于实际或经验得出的闭合压力以及相应的时间值生成闭合压力的发展趋势。

[0046] 该模拟器可配置为使得闭合压力的预测趋势的最后的值 228 表示上覆层压力, P_{ovb} 。此外,该模拟器可以被配置或被编程用以执行等式或关系式 6-9 以确定地层的处理(容)量以及废料注入的时间间隔。然后,可以计算预测的上覆层压力和经验确定的最高闭合压力 P_{c1} 之间的差 D_2 。然后在步骤 230,通过将预测上覆层压力和最后的经验确定闭合压

力之间的差 D_2 除以在预先确定的时间间隔内注入的总的泥浆量,可以确定出每单位泥浆量(例如,桶)的闭合压力增大值,如下面等式 6 所示。

$$[0047] \quad D_2 / \text{总的注入体积} = P_{c1} \text{ 每单位体积的增大值} \quad (6)$$

[0048] 然后,在步骤 232,通过将上覆层压力和经验确定的最高闭合压力之差 D_2 乘以每单位体积引起的闭合压力增大值确定井的地层的容量或最大注入体积,如等式 7 所示。

$$[0049] \quad D_2 \times P_{c1} \text{ 每单位体积引起的增大值} = \text{地层容量} \quad (7)$$

[0050] 然后,通过将预选定的时间间隔期间注入泥浆的总量除以注入泥浆的持续时间(例如,几天)确定每单位时间的平均注入体积,如等式 8 所示。

$$[0051] \quad \text{注入总量} / \text{泥浆注入时间} = \text{平均注入体积} \quad (8)$$

[0052] 最后,通过将由等式 7 确定的估计的地层容量除以由等式 8 确定的每单位时间的平均注入体积,可以确定注入泥浆以达到地层处理量所需的时间量(例如,天数),如等式 9 所示。

$$[0053] \quad \text{地层容量} / \text{平均注入体积} = \text{时间} \quad (9)$$

[0054] 在一个实施方式中,在步骤 234,数值模拟器可输出泥浆处理容量和废料注入的时间间隔。此外,模拟器可以输出将泥浆注入地层的时间间隔。基于该输出,可执行废料注入过程,根据确定和输出的泥浆处理容量和 / 或时间间隔,将一定量的泥浆注入地层中。

[0055] 依据另一实施方式,公开一种优化的所选地层的废料注入处理量的方法。在此实施方式中,基于输入参数模拟所选地层。该输入参数可包括,例如,地层参数和分批注入参数。该地层参数可包括,例如,地层的地质特性,例如杨氏模量,泊松比,地层应力,地层压力,注入地层的温度,和渗漏系数。其他的地层参数包括地层类型,岩层硬度,地层强度,和可塑性。

[0056] 一旦地层被模拟出,可基于该模型确定每单位泥浆量引起的闭合压力的增大值。在一个实施方式中,如果实际或经验的废料注入数据不可得,可使用上述等式 3 确定闭合压力的增大值。在另一实施方式中,如果废料注入过程的经验数据可用的话,可使用等式 6 确定闭合压力的增大值。

[0057] 根据对闭合压力增大值的确定,可计算出所选地层的处理量(参见等式 5 和 7),使得优化了地层的处理量。在一个实施方式中,处理量的优化是指在不会损坏井、附近的井或规划的井路径的情况下可以注入到所选的地层中的最大的泥浆注入量。通常,一旦井裂缝内部的压力达到上覆层压力,水平裂缝可能“扭转”并沿垂直方向上断裂。这种断裂的扭转效应通常是不希望发生的。因此,对所选地层处理量的优化包括在注入时确定泥浆量不会达到或超过上覆层压力、挤毁套管压力或胀裂套管压力。

[0058] 根据确定的处理量,还可以确定将泥浆注入到所选地层的时间间隔(参见等式 8 和 9)。然后将所选地层的确定和优化的处理量和 / 或注入时间间隔输出给用户。基于该输出,可实施废料注入过程,根据确定和输出的泥浆处理量和 / 或时间间隔,将一定量的泥浆注入地层中。

[0059] 现在参考图 3,示出了根据本发明公开实施方式的估计用于废料注入操作的地下地层的废料处理量的方法。图 4 示出了图 3 中详述的方法的示意图。在此实施方式中,通过对注入地层以及周围的地层执行的裂缝模拟得出关闭时的裂缝几何特性和净压力确定该注入地层的最大处理量。如果废料注入压力的实际数据不可用,可使用图 3 中所示的方

法确定或估计地层中钻屑处理的最大量,或所选地层的处理量。

[0060] 如图 3 所示,在步骤 340,估计地层参数,包括注入层和周围地层的岩性和力学特性。如上文所述,地层参数可包括地层的地质特性,例如杨氏模量,泊松比,地层应力,地层压力,注入地层温度,和渗漏系数。其他地层参数可包括地层类型,岩层硬度,地层强度,以及可塑性。地层参数可从测井设备或钻取土样设备中获得,或从本领域中用于确定地层特性的其他设备中获得,例如,LWD 和 MWD 设备。

[0061] 然后,在步骤 342,用所选地层的地质参数建立地质力学模型,并且该模型被输入至模拟器中。该模拟器可包括本领域已知的用于模拟地层压裂的任何模拟器。在一个实施方式中,该模拟器可以包括三维水力压裂模拟器。商业上可使用的压裂模拟器包括,例如,TerraTek®(盐湖城,犹他州)生产的 TerraFRAC®,Schlumberger(休斯顿,德克萨斯州)生产的 FracCADE®,以及 Meyer and Associates, Inc(纳特罗纳,宾夕法尼亚州)生产的 MFRAC™。该模拟器可包括数字建模,三维建模,并且可模拟在废料注入期间地层裂缝的发育。

[0062] 在步骤 342 中将地层参数和地质力学模型输入模拟器后,执行模拟,步骤 344,模拟在废料注入过程中所选地层的水力压裂。在一个实施方式中,也可将分批注入参数和泥浆参数输入到模拟器。分批注入参数可包括,例如,注入地层的废料的批次数,以及将要注入地层中的泥浆(固体碎屑加上流体)量。泥浆参数包括,例如,泥浆的材料性质。在某些实施方式中,分批注入参数可为基于操作员、工程师的过去注入经验等选定的估计值。例如,在一个实施方式中,模拟器的操作员可具体指定注入 600 桶泥浆,其中该泥浆包括大约 20%的固体,用于建模或模拟该地层的水力压裂。本领域的普通技术人员将意识到,根据(例如)所选地层和为注入所准备的废料量,可以使用或输入其他分批注入参数的组合。

[0063] 在执行模拟的步骤 344 后,基于步骤 342、344 的模型和输入模拟器的数据,所述模拟将输出裂缝模拟结果。在一个实施方式中,裂缝模拟结果包括在模拟注入操作结束时或关闭时的净压力和地层地质,步骤 346。在一些实施方式中,裂缝闭合压力的增大值(即超过裂缝高度的最小原位应力)正比于关闭时裂缝中固体填充部分或分数(fraction)和净压力。图 6 中示出了这个关系,其中 w 是部分或分数, p 为压力。由于泥浆中固体浓度是常数,在上述示例中确定为 20%的固体量,关闭时的固体填充部分或分数等于 0.25%,如图 5 所示。图 5 示出了关闭时计算的裂缝中固体填充部分或分数随针对沙粒(等价于碎屑)和支撑物(中等强度的沙粒)的注入的泥浆的固体浓度的对照。使用 35%为平均的地层多孔性。因此,在步骤 348,单批泥浆在地层中引起的闭合压力的增大值可估计为等于填充分数(即,0.25%)乘以净压力。可以估计每次进行的模拟的裂缝闭合压力的增大值。

[0064] 然后,在步骤 350,通过确定在注入压力达到井填充极限前或裂缝闭合压力达到上覆层压力之前可以注入地层的总体积,估计地层的容量。为了验证地层的裂缝容纳或容量,可以实施单批次大的体积容纳的安全模拟或验证模拟,352。将估计的可注入地层的总固体量(即,基于注入压力、填充极限,或上覆层压力进行估计)输入到安全模拟中以验证容量。

[0065] 在基于地层的估计总体积或容量已经开始注入操作后,估计的裂缝闭合压力增大值可通过将其与根据压力下降分析(例如 G-函数或平方根(SQRT)曲线)和定义的调整系数确定的实际裂缝闭合压力进行对比来校准,步骤 354。

[0066] 参考图 3,提供根据本发明公开实施方式的估计废料注入操作的地下地层的废料

处理容量的方法的示例。首先,通过将关闭时的净压力乘以填充分数可以估计每批注入的泥浆在裂缝引起的闭合压力 P_{cl} 的增大值,如等式 10 所示:

$$[0067] \quad \text{每批 } P_{cl} \text{ 的增加} = \text{关闭时的 } P_{net} \times \text{填充分数} \quad (10)$$

[0068] 在此示例中,对于每批次泥浆的体积 600bbls 的情况,关闭时的净压力为 140psi,并且填充比率为 0.25% (参见图 5),裂缝闭合压力的增大值确定为 0.35psi。

[0069] 然后,通过将每批泥浆体积乘以固体浓度可确定泥浆中的固体体积 (V_c),如等式 11 所示。

$$[0070] \quad V_c = \text{每批泥浆体积} \times \text{固体浓度} \quad (11)$$

[0071] 因此,对于具有大约 20% 固体浓度的泥浆的情况,该泥浆中固体的体积 V_c 大约为 120bbls (600bbls \times 0.2)

[0072] 每注入一桶固体,通过将每一批注入的泥浆引起的裂缝的闭合压力的增大值除以泥浆中固体的体积,估算裂缝的闭合压力的增大值,如等式 12 所示。

$$[0073] \quad \text{每桶 } P_{cl} \text{ 的增大值} = \text{每批 } P_{cl} \text{ 的增大值} / V_c \quad (12)$$

[0074] 因此,在此例中,每一桶注入的碎屑 / 固体引起的裂缝闭合压力的增大值大约为 0.00292psi/bbl (0.35psi/120bbls)。

[0075] 接下来,使用等式 13 确定上覆层压力 P_{OB} 和初始裂缝闭合压力 $P_{cl \text{ initial}}$ 之间的差值。

$$[0076] \quad \text{差值 1} = P_{OB} - P_{cl \text{ initial}} \quad (13)$$

[0077] 然后,将这个差值与初始注入压力 P_{inj} 和井填充极限 P_{max} 之间的差值 (由等式 14 给出的) 对比,以确定哪个差值较小。

$$[0078] \quad \text{差值 2} = P_{max} - P_{inj} \quad (14)$$

[0079] 然后,确定的最小的差值,差值 1 或差值 2,被用于保守估算处理量。在当前示例中,该上覆层压力、裂缝初始闭合压力、初始注入压力和井填充极限如下所示:

$$[0080] \quad \text{上覆层压力} = 5709\text{psi}$$

$$[0081] \quad \text{裂缝初始闭合压力} = 4318\text{psi}$$

$$[0082] \quad \text{初始注入压力} = 5100\text{psi}$$

$$[0083] \quad \text{最大井填充极限压力} = 10000\text{psi}$$

[0084] 在此示例中,根据测井确定上覆层压力,根据实际压力分析获得裂缝初始闭合压力和初始注入压力,以及通过操作员基于配管、套管和水源最大压力提供最大井填充极限。

[0085] 因此,差值 1 (1391psi) 小于差值 2 (4900psi),因此可用于计算固体处理容量。该固体处理容量等于由等式 13 和 14 确定的最小的差值除以由等式 12 确定的每注入一桶固体引起的裂缝闭合压力的增大值,如等式 15 所示。

$$[0086] \quad \text{固体处理容量} = \text{差值} / \text{每桶 } P_{cl} \text{ 的增大值} \quad (15)$$

[0087] 据此,当前示例中固体处理容量等于 476370bbls (1391psi/0.00292psi/bbl)。

[0088] 然后,使用 3 维水力压裂数值模拟器执行单批次大体积容纳的安全模拟或验证模拟 (assurance simulation),如上所述,以及根据等式 15 估算的总固体处理容量以验证裂缝控制。

[0089] 此外,基于估计的固体处理容量,通过估计的固体处理容量除以每个井固体生成体积可以计算可注入的井的总量,如等式 16 所示。

[0090] 井数 = 固体处理容量 / 井固体生成量 (16)

[0091] 假定每个井固体生成量大约为 2000bbls, 则可注入的井数大约为 238 个井 (476370/2000)。

[0092] 在必要时可以执行与等式 10-16 相关的步骤以及用于确定这些数据的模拟, 用于预期其他批次泥浆体积。每个后续批次泥浆可导致变化的井底压力, 如图 7 所示。使用模拟和上述步骤得出的结果, 可使用本领域技术人员已知的任何方法确定固体处理容量的置信区间 (例如, P10, P50, 和 P90) 以及可注入的井数。图 8 示出根据本文所公开的一个实施方式的固体处理容量的可能性或置信区间与井的数量。

[0093] 在注入操作开始后, 估计的裂缝中闭合压力的增大值 P_{cl} 可用由下降分析推断出的实际裂缝闭合压力进行校准。可定义调整系数以应用于当前或以后的模拟, 如等式 17 所示。

[0094] 调整系数 = $P_{cl \text{ Estimated}}/P_{cl \text{ Actual}}$ (17)

[0095] 例如, 当估计的裂缝闭合压力为 4322psi 并且实际裂缝闭合压力为 4360psi 时, 调整系数为 0.991 (4322psi/4360psi)。

[0096] 在一个实施方式中, 本文公开的方法的输出可以包括输出闭合压力、上覆层压力、处理容量和时间间隔。输出的类型包括信息的图形化表示, 例如, 压力变化趋势, 或示出了地层的处理容量的图形化表示。此外, 输出可以包括数值和表格式的显示。

[0097] 有利地是, 本文中公开的实施方式提供了用于确定废料注入过程中在所选地层中最大或优化的注入容量或注入体积的方法。在一些实施方式中, 还可提供校准或确定在废料注入过程期间在地层中初始化的水力压裂参数的方法。本文公开的实施方式可有利地提供在达到上覆层压力和 / 或达到井中套管破裂压力之前, 在所选地层中泥浆注入的时间估计或评估。此外, 本文中公开的实施方式有利地提供在不确定裂缝地质的情况下确定地层处理容量的方法。

[0098] 同时本发明的描述与有限数量的实施方式有关, 本领域的技术人员, 通过本文的公开而获益, 将意识到可设计出脱离本文所公开发明范围的其他实施方式。因此, 本发明的范围应仅受附属的权利要求的限制。

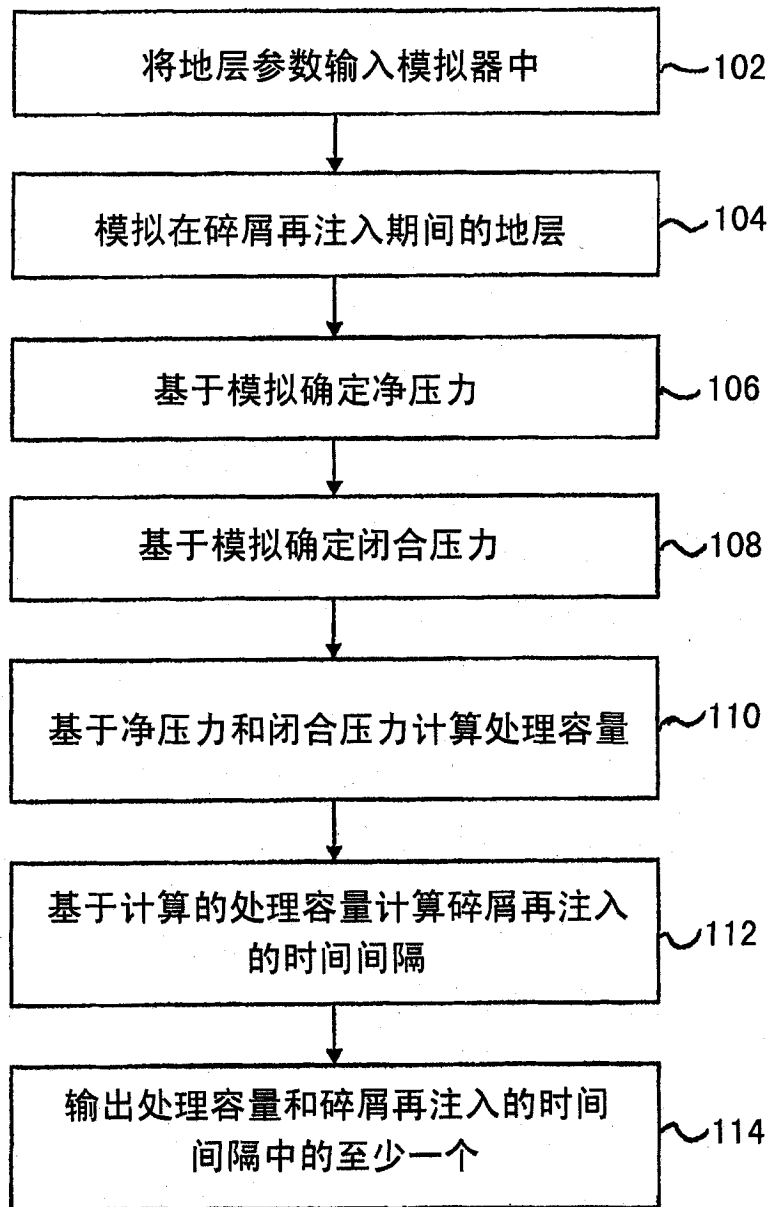


图 1

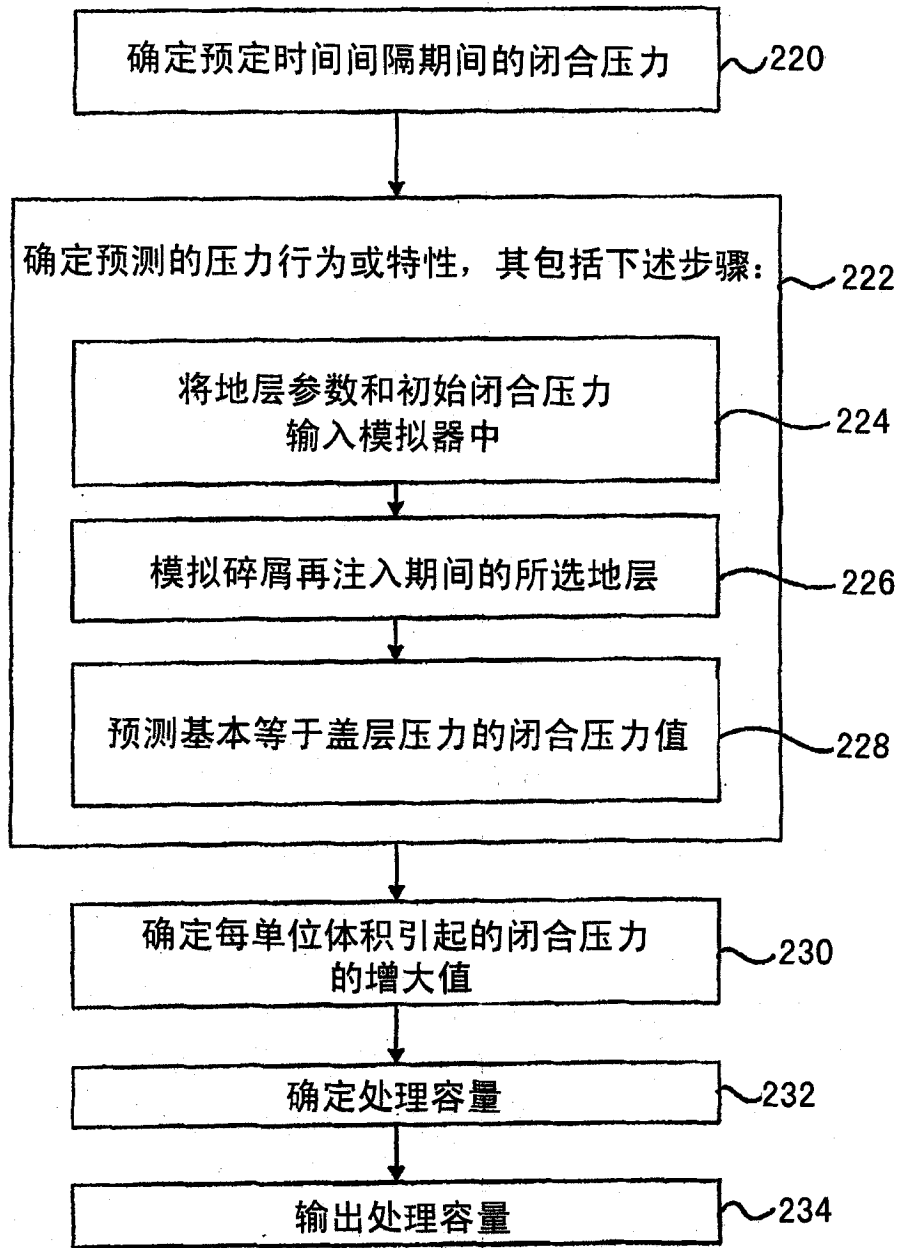


图 2

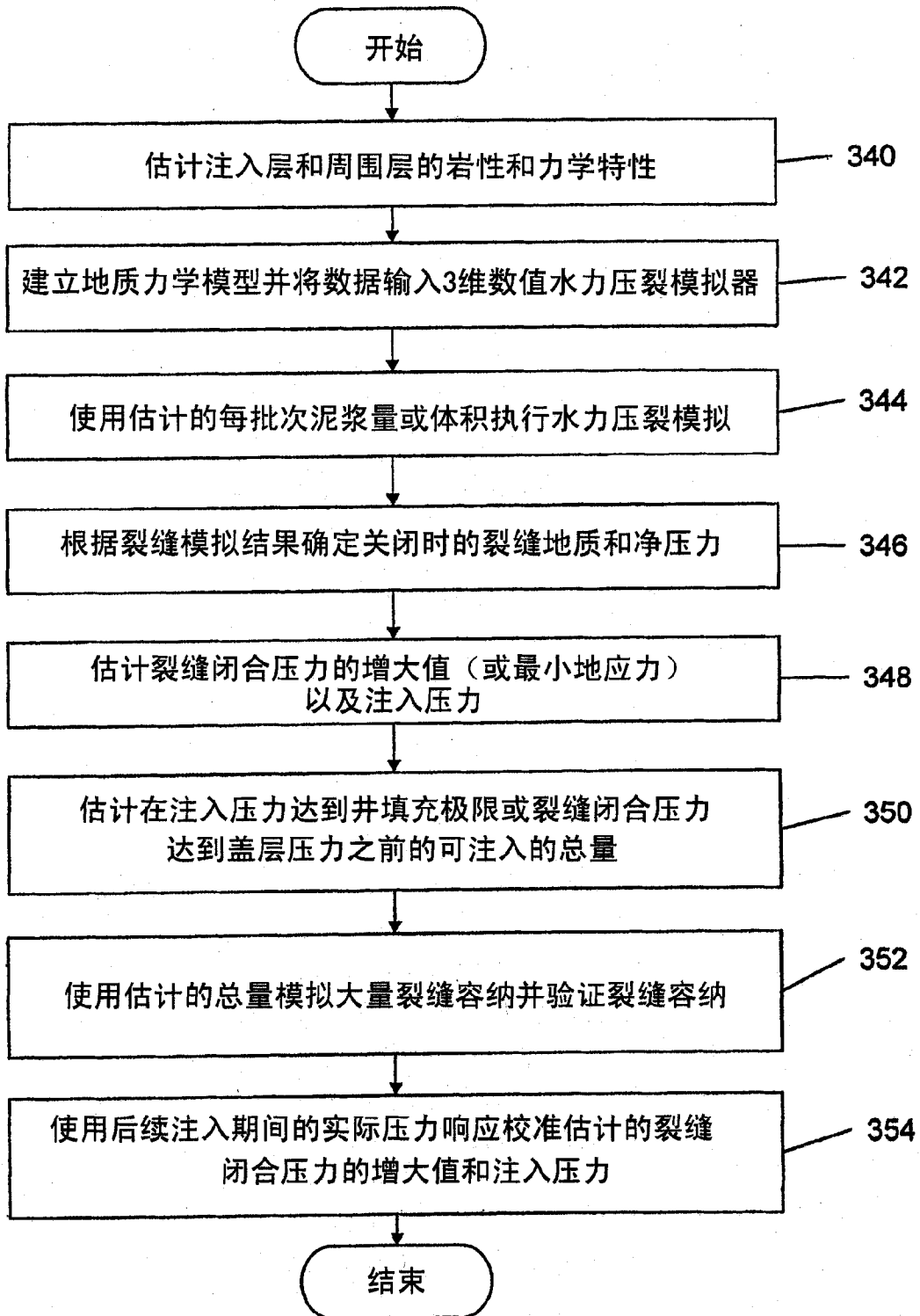


图 3

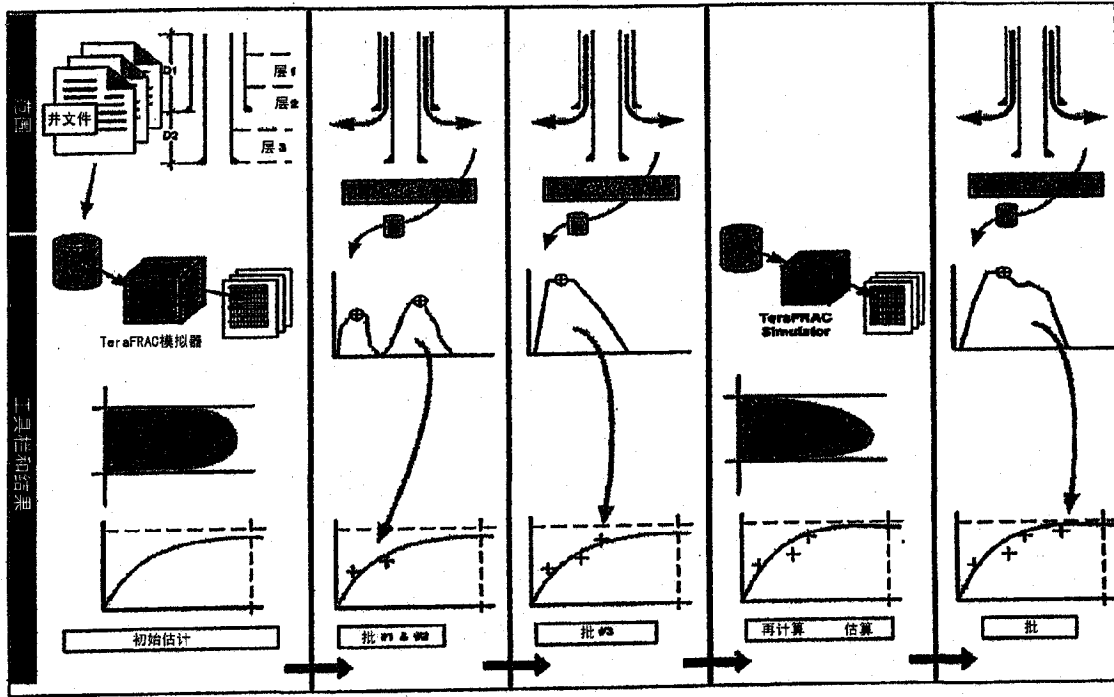


图 4

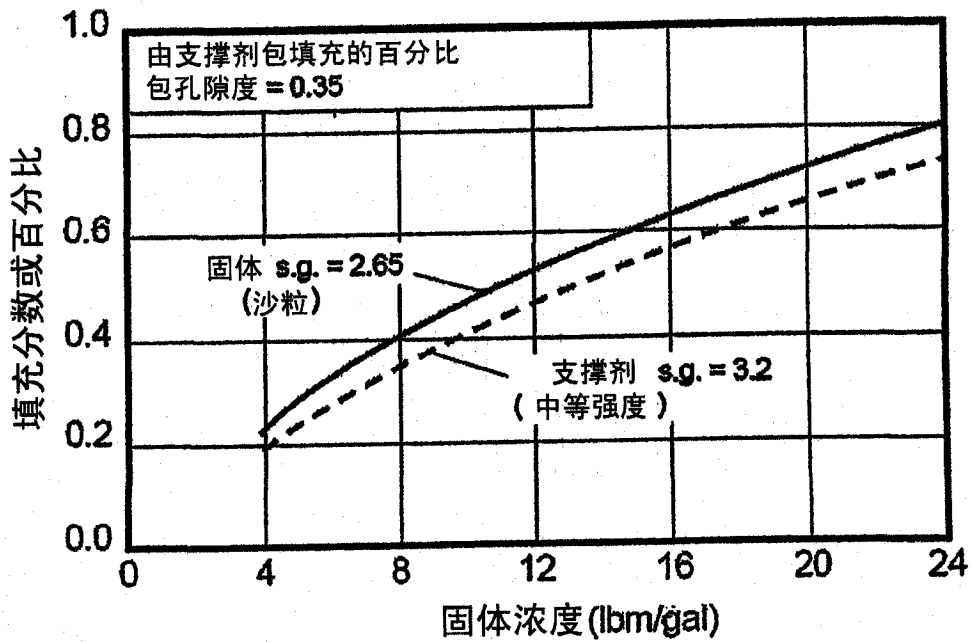


图 5

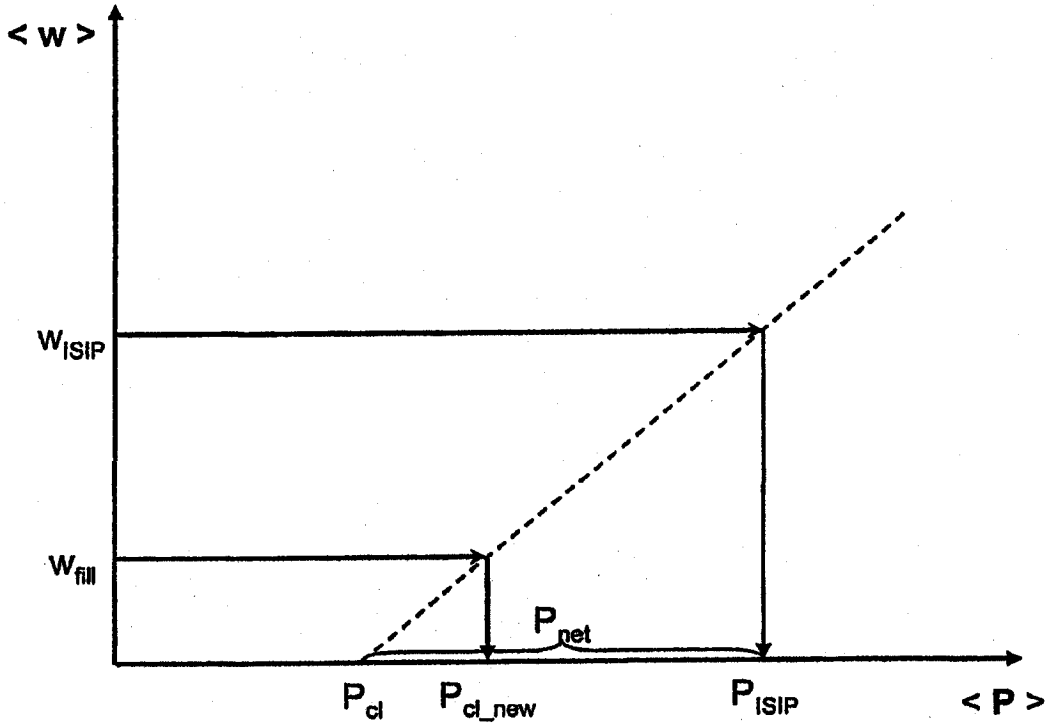


图 6

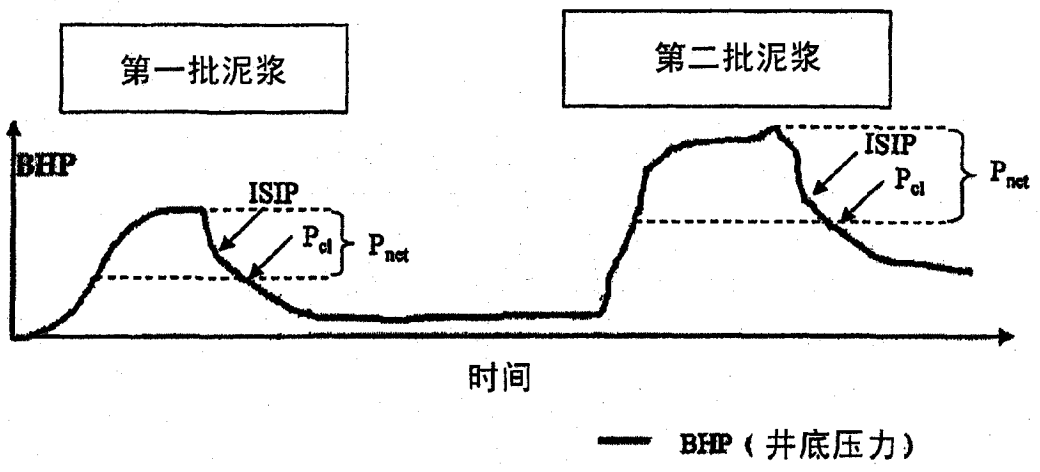


图 7

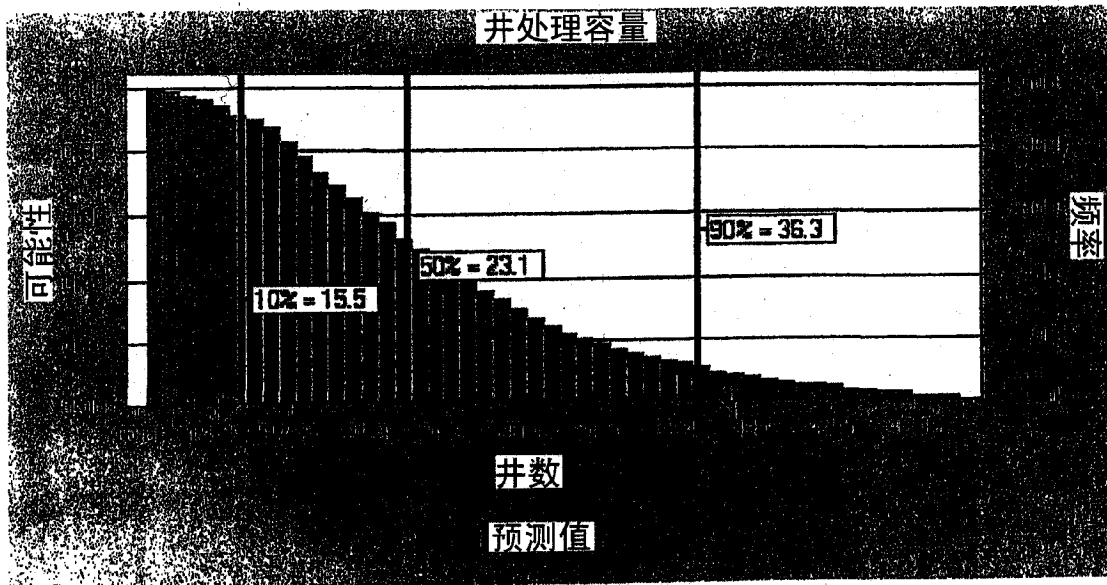


图 8