



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101688109 B

(45) 授权公告日 2015.03.25

(21) 申请号 200880022160.9

(22) 申请日 2008.06.17

(30) 优先权数据

60/962,040 2007.07.26 US

61/003,640 2007.11.19 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2009.12.25

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2008/007539 2008.06.17

(87) PCT国际申请的公布数据

W02009/014585 EN 2009.01.29

(73) 专利权人 埃克森美孚上游研究公司

地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 F·E·迪普里斯特 M·V·史密斯

S·C·蔡林格 C·R·阿法勒

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限

公司 11245

代理人 赵蓉民

(51) Int. Cl.

C09K 8/02(2006.01)

(56) 对比文件

US 2006/0254826 A1, 2006.11.16,

US 5325921 A, 1994.07.05,

US 6820702 B2, 2004.11.23,

US 2007/0111899 A1, 2007.05.17,

US 2006/0157248 A1, 2006.07.20,

US 2006/0131074 A1, 2006.06.22,

审查员 李洋

权利要求书2页 说明书22页 附图12页

(54) 发明名称

控制钻井液损失的方法

(57) 摘要

本发明提供钻井方法和当钻井时连续处理循环液漏失的方法。使用高滤失量钻井液,以及在水力压裂中形成不动物质以防止水力压裂增长的颗粒材料。该颗粒材料可基于水力压裂的预测尺寸、基于最小化细粒的颗粒大小、基于对选定的流体密度获得高固体含量的比重和 / 或基于获得高初滤失量的颗粒的渗透性进行选择。

1. 在地下岩层中钻井眼的方法,其包括:

(a) 制备钻井液,所述钻井液具有的 API 初滤失量在 10ml 以上并且包含在携带液中的按体积计至少 10%的颗粒处理材料,其中所述初滤失量浓缩所述颗粒处理材料以在钻井眼时形成的裂缝中形成不动物质,以及其中所述颗粒处理材料包含任何大小的可渗透介质颗粒;和

(b) 当在地层中钻井时在所述井眼中循环所述钻井液。

2. 权利要求 1 所述的方法,进一步包括从所述井眼生产烃。

3. 权利要求 1 所述的方法,其中所述地层包括至少一个具有地层完整性的区域,并且进一步包括在所述井眼中的所述裂缝处施加至少与第一压裂梯度一样大的压力梯度,所述第一压裂梯度相应于所述裂缝的邻近区域中的地层完整性,并且其中在所述裂缝处施加至少与所述第一压裂梯度一样大的压力梯度加宽所述裂缝,增加邻近所述裂缝的裂缝闭合应力。

4. 权利要求 3 所述的方法,其中所述井眼中的所述压力梯度被增加到至少与第二压裂梯度一样大的压力梯度,所述第二压裂梯度相应于在与所述裂缝间隔的区域中的地层完整性。

5. 权利要求 1 所述的方法,其中根据大小分布选择所述颗粒处理材料,以最大化在所述不动物质形成时通过所述不动物质的携带液的初滤失量。

6. 权利要求 1 所述的方法,其中根据密度选择所述颗粒处理材料,以形成对于给定的期望流体密度具有按体积计最大总百分比固体的钻井液。

7. 权利要求 1 所述的方法,其中所述颗粒处理材料包括重晶石颗粒,并且其中选择所述重晶石颗粒以具有 30 微米以上的颗粒大小。

8. 权利要求 1 所述的方法,其中所述颗粒处理材料包括可渗透介质。

9. 权利要求 8 所述的方法,其中所述可渗透介质包括硅藻土、微米管、纳米管、微米管组合物、纳米管组合物和纤维膜组合物的至少一个。

10. 权利要求 1 所述的方法,进一步包括:

利用井底组件在所述地层中钻井期间监测转矩,所述井底组件在钻头上具有至少一个稳定器;

获得 API 滤失量在 6ml/30min 以下的钻井液的钻井和密封处理丸;以及

当转矩监测显示所述井底组件上的转矩大于预定可接受的转矩时,在所述井眼中循环所述丸同时旋转所述至少一个稳定器。

11. 权利要求 10 所述的方法,其中所述钻井和密封处理丸包含阻塞固体,选择所述阻塞固体以具有阻塞所述地层的孔喉的平均颗粒大小。

12. 权利要求 10 所述的方法,其中所述钻井和密封处理丸包含阻塞固体,加入所述阻塞固体至浓度为 20 磅/桶(ppb)以上。

13. 用于在地下岩层中钻井眼以生产烃的钻井液,所述钻井液包括:

携带液;和

固体,所述固体在所述携带液中的量是按体积计至少 10%;其中至少 50%的所述固体的大小在预期在钻井作业期间形成的裂缝的设计宽度以下;并且其中所述固体具有至少部分地基于所述裂缝的所述设计宽度而选择的大小分布,其中所述固体包含任何大小的可渗

透介质颗粒。

14. 权利要求 13 所述的钻井液,其中选择所述携带液和所述固体,以提供 API 初滤失量在 10ml 以上的钻井液。

15. 权利要求 13 所述的钻井液,其中根据大小分布选择所述固体,以最大化在不动物质在所述裂缝中形成时通过所述不动物质的携带液的初滤失量。

16. 权利要求 13 所述的钻井液,其中根据密度选择所述固体,以形成对于给定的期望流体密度具有按体积计最大总百分比固体的钻井液。

17. 在地下岩层钻井眼的方法,所述地下岩层具有水力压裂,所述方法包括:

(a) 制备钻井液,所述钻井液的 API 初滤失量在 10ml 以上并且包含按体积计至少 10% 颗粒处理材料,其中至少 50% 的颗粒物质的大小在所述水力压裂的设计宽度以下;

(b) 制备钻柱,所述钻柱具有至少一个稳定器和下端;

(c) 用所述钻柱钻所述井眼,并且当钻井时在所述井眼中循环所述钻井液;

(d) 监测用所述钻柱钻井期间的转矩;和

(e) 当达到选择的转矩时,在所述地层上循环丸同时在所述井眼中移动所述稳定器,所述丸具有 6ml/30min 以下的 API 滤失量。

18. 权利要求 17 所述的方法,进一步包括下列步骤:

(f) 将所述钻柱的所述下端移动到所述地下岩层上方,并循环所述钻井液选择的时间;

(g) 移动所述钻柱的所述下端到所述地下岩层下方;

(h) 监测第二转矩;和

(i) 继续钻井或重复步骤 (d) 到 (h),这取决于所述第二转矩。

19. 权利要求 17 所述的方法,其中所述丸包含至少每桶 10 磅的阻塞固体。

20. 权利要求 19 所述的方法,其中基于估计的所述地下岩层的孔喉大小选择所述阻塞固体。

控制钻井液损失的方法

相关申请的交叉参考

[0001] 在 35U. S. C. § 119(e) 下,本申请要求 2007 年 7 月 26 日提交的美国临时申请序列号 60/962,040 的权益,该申请的名称为“ Method for Controlling Loss ofDrilling Fluid(控制钻井液损失的方法)”和要求 2007 年 11 月 19 日提交的美国临时申请序列号 61/003,640 的权益,该申请的名称为“ Method for Controlling Loss ofDrilling Fluid(控制钻井液损失的方法)”,其每一篇通过引用方式并入本文。

技术领域

[0002] 本发明涉及钻井入地。更具体而言,提供控制在钻井过程中井筒的钻井液损失(“循环液漏失”)的方法和系统。

背景技术

[0003] 本节意图是给读者介绍本领域的各个方面,其可与下面描述和 / 或要求保护的本发明技术的示例性实施方式相关。相信该讨论在给读者提供促进更好地理解本技术的具体方面的信息方面是有益的。因此,应该理解,应当从该角度阅读这些陈述,而不必作为对现有技术的承认。

[0004] 在使用旋钻方法的钻井(例如油井和气井)中,钻井液通过钻柱和钻头循环,然后经由被钻井筒循环回到地表。该流体被加工以在其再循环到井之前,除去钻屑并保持需要的性质。该钻井液可具有多个目的,其包括 1) 冷却和 / 或润滑钻头;2) 保持井筒钻过的地下岩层上的流体静压力,从而防止加压的地层流体进入该井筒;和 3) 循环岩屑离开该井筒。在钻井作业期间,一些量的流体将损失,该损失量通常称为“循环液漏失”。考虑一些形式的损失是可接受的并且是预期的。例如一些量的钻井液由于地层的渗透性而损失。当泥浆流入岩石中的小开孔(孔隙, small openings)时,流体内的固相将最终塞住该开孔,并且在井筒壁上形成滤饼。损失体积是小的,并且随时间下降。另外,在井筒壁中形成裂缝后——其给钻井液提供了出口,钻井液可能损失。泥浆中的固体不能塞住张开裂缝,并且损失可以是出乎意料的、无法控制的、和 / 或不能接受的体积。

[0005] 井筒钻入或钻过的地下岩层的机械性质不同。这些性质和井筒中的流体压力决定损失是否发生和损失的性质。例如地层的渗透性将决定滤饼怎样迅速地在井筒壁上形成,以及在有效滤饼形成以前损失多少钻井液。术语“初滤失量”一般用于指在控制滤饼形成之前通过过滤介质(这里是可渗透的井筒壁)的钻井液的体积。传统地,已经设计钻井液以最小化通过可渗透井筒壁的初滤失量。所形成的滤饼迅速地形成,并且通常非常薄。为了在井筒壁上形成滤饼,已经以多种不同的方式优化传统的钻井液。然而,这些特征在中止破裂地层造成的损失方面是无效的。由于破裂地层引起的循环液漏失的问题以多种方式工业处理,但是仍然需要更有效的和可预测的溶液。

[0006] 地下岩层的另一个重要的性质是地层完整性,其沿着井筒的长度变化。地层完整性通常是数个因素的函数,其包括地层组成和地层深度。地层完整性被定义为井筒壁中将

形成裂缝并且流体将损失的井筒压力。当井筒压力超过地层完整性,岩石被迫打开,并且泥浆流入该开孔。打开井筒以产生裂缝所需的压力很大程度上等于储存在周围岩石中的应力,所述周围岩石保持井筒闭合。该应力来自感兴趣的具体深度上方岩石和流体的重量。该重量被称为上覆岩层。岩石性质也起作用,这是因为给定上覆岩层产生的应力将随着具体的岩石特性而变化。例如,深埋入地的地层可具有 10000psi 的上覆岩层,其在给定地层中可产生 7000psi 的最小岩石应力。迫使井筒壁打开所需要的井筒压力一般仅仅稍高于 7000psi。开孔的形状是窄且高的,并被称为裂缝。因为上覆岩层和岩石特性在地层的一个层段与另一个层段之间不同,或在地层的一个区域与另一个区域不同,因此地层完整性沿着井筒的长度变化。在具有较高的围阻应力 (containment stress) 的层段中钻井可进展良好,但是当地层完整性低的岩层或层段被穿透时,裂缝和相应的钻井液损失可发生。

[0007] 迄今,裂缝的开孔已被论述与地层完整性相关。井筒中特定点处的地层完整性也可被称为该位置处的压裂梯度。压裂梯度通常被表达为压力除以深度,并且其相当于裂缝产生前井筒壁能支撑的压力。井筒的特定层段或区域的压裂梯度等于开始裂缝增长所需的压力除以该位置的深度。特定层段的压裂梯度也可以以“当量泥浆比重”(EMW) 表示。其是流体柱施加给定压力梯度必须具有的密度,并且可以以磅/加仑 (ppg) 表示。如果产生裂缝,并且迫使裂缝打开,那么裂缝的两面继续向后推,并且试图以等于周围岩石应力的力闭合。该力被称为裂缝闭合应力或“FCS”。

[0008] 可以引起裂缝开孔(裂缝张开度, fracture opening) 的压力的主要来源是井筒中循环的钻井液应用到井筒壁上的流体静压力。钻井液的一个重要的性质是流体泥浆比重或泥浆密度,其是每单位体积的质量。钻井液泥浆比重是重要的,因为它确定井中任何给定深度处的流体静压力,其防止流入井和井筒坍塌,并且当流体静压力超过地层完整性或压裂梯度时,其引起裂缝。在钻井液循环时,由于摩擦引起的压降,对井筒壁施加附加压力。因此,钻井作业经常考虑钻井液的当量循环密度(ECD),其等于环中从所考虑的点到地表的动态压降加由于其密度引起的流体的静压头。因为井筒中的钻井液在不同的时期可以在井筒中循环或在井筒中固定,所以对于保持井筒需要的完整性(避免超压力引起的裂缝和低压引起的坍塌)而言,确定并控制在两种情况下由钻井液施加的流体静压力是重要的。

[0009] 传统地,一段井筒被钻到 ECD 产生接近该井筒附近地层的压裂梯度的井筒压力的深度。例如井筒可钻进已知具有低完整性(由于岩石成分、贫化或其它原因)和相应的低压裂梯度的层段。在那点,套管柱被安装到井筒中,以稳定先前已钻层段中的地层,以便防止井筒的坍塌和/或防止地层流体流入,然后降低井筒压力至更深处较低完整性地层可容许的水平。相似地,如果新接近的层段需要比先前的层段可支持而没有产生裂缝的井筒压力更高的井筒压力,那么可安装套管以稳定和/或分隔先前的层段对抗继续钻入所需要的增加的井筒压力。一般而言,每个增加的套管柱具有比先前的柱更小的直径,并且安装可能是非常昂贵和耗时的。在一些情况中,由于完井所需要的套管柱的数目和安装每个柱引起的套管和井眼大小的减小,钻深井筒变得不切实际。

[0010] 图 1 是钻井期间交叉的多层地层岩层或一层地层岩层中以米表示的深度对预期的孔隙压力(线 2)、岩层中预期的压裂梯度(线 3)和待被使用的钻井液的 ECD(线 4)的图。安全钻井程序需要 ECD(线 4)位于孔隙压力和压裂梯度(线 2 和 3)之间。在图 1 的右侧,基于这些曲线示出套管平面图。通过分隔具有低压裂梯度“未完井 (behind pipe)”

的岩层,设计中间六个套管柱 5 的深度以防止循环液漏失,并且在 1a、1b、1c、1d、和 1e 深度对六个柱的每一个示出套管鞋。

[0011] 在图 1 的实例中,到称为“地带 A”、“地带 B”和“地带 C”的区域中的岩层的循环液漏失将被预期,这是因为施加来循环井的压力 (ECD) 大于这三个具有低压裂梯度的地带中的地层完整性。在由于生产已经部分衰竭——这导致降低的孔隙流体压力——的井筒的层段中,打开裂缝的风险被大大地加剧,如在图 1 中衰竭带 A、B 和 C 所图解的。在层段或岩层中低的流体或孔隙压力降低了保持井眼闭合的应力和该岩层中的压裂梯度。

[0012] 当没有衰竭时,特别是在大角度定向钻入的井中,进入裂缝的高循环液漏失率也可发生。当钻垂直井时,完整性倾向于随着钻井深度而增加,这是因为完整性被给定点上的地层的重量增加。相反,在大角度定向井中的完整性不会迅速地增加,这是因为轨道通常是斜的,并且该井没有穿透入地球更深。在水平井的极端实例中,根本没有增加垂直深度,随着钻井进行,在完整性方面根本没有改变。然而,由于井眼长度增加,循环压力继续增加。当定向井筒达到某一长度时,其循环压力可超过地层完整性,并且发生损失。当大角度定向井中的循环压力超过地层完整性时,继续钻井可能导致不可接受高的循环液漏失,即使可能没有遇到地质目标。随着深水油田熟化和生产层段中压力下降,这类损失的经济影响可增加。一般地,深水油田在具有低天然完整性的地层中开采,并且井筒从中心结构钻到较大的距离,具有高的循环压力。目前,在深水中存在少量衰竭油气藏,这是因为工业上仅仅近来开发了开采这些油田的技术。然而,从这些储层进一步耗竭流体可进一步降低一些地带中的压裂梯度。大角度、延伸井中的高循环压力和在中深水中常见的低压裂梯度的结合可能使开采大矿床 (large deposits) 是不经济的,除非新的钻井工艺技术可用。

[0013] 当防止井筒在低强度岩石区域坍塌所需的流体密度超过完整性时,也可发生损失。定向井更易于坍塌,因此需要更高的流体密度以成功钻井。稳定井筒所需要的密度被称为“稳定性泥浆比重”。由于井筒长度,较高流体密度稳定性和高循环压力的组合在大角度、长下落井 (long-throw) 中引起损失是更可能的。

[0014] 当钻入地带时,如果观察到损失返出物到裂缝,那么除了安装昂贵的套管,两个主要的响应途径是可用的:1) 降低井筒压力,和 2) 增加地层的压裂梯度以超过井筒压力。如果井眼压力(井筒压力)被降低到低于 FCS,那么井筒周围的应力将迫使裂缝闭合,并停止压裂液滤失。由于种种原因,如果压力不能被降低,那么井眼压力将继续使裂缝延伸,并且损失继续。因此,增加裂缝闭合应力(FCS)是优选的途径。

[0015] 已知如果与井筒交叉的裂缝形成并延伸入该井筒周围的岩石,并且该裂缝中的固体物质保持该裂缝张开,那么井筒处的压裂梯度增加。(F. E. Dupriest, " Fracture Closure Stress (FCS) and Lost Returns Practices, " SPE/IADC 92192, Society of Petroleum Engineers, 2005)。通过形成保持或维持打开的裂缝,进行工业中大多数循环液漏失处理以提高井筒压裂梯度。加宽裂缝引起井筒的邻接区域中的岩石被压实,这引起更大应力向后推。因此,裂缝打开压力(完整性)增加。该应力绕井筒壁前进,并且在一定程度上在所有方向上增加打开压力。通过在井筒内或裂缝本身内构造压力,可加宽裂缝。

[0016] 大多数增加裂缝闭合应力的传统尝试是对井筒运用不连续的处理。传统的不连续的处理由停止钻井,然后将有限体积的、包含防漏剂 (LCM) 的、被称为“丸”的流体泵下井筒以尝试停止或减缓钻井液损失组成。一般而言,LCM 材料的尺寸比传统钻井液中固相更大。

LCM 材料与新形成的裂缝相互作用以防止通过该裂缝的另外的压裂液滤失。LCM 加宽裂缝，导致在邻近该裂缝的井筒的区域中裂缝闭合应力增加。如果处理不成功的，必须使套管穿过该损失地带，这是昂贵的和耗时的。也存在漏失液的附加费用。

[0017] 大多数的历史处理是当损失第一次发生时或地层层段 (formation interval) 完全暴露和钻井停止后进行的不连续的操作。因此，当钻井前进通过该层段时滤失发生，并且当停止钻井进行不连续的处理时招致花费 (costs)。不连续处理的成功率已经得到提高，但是工业上缺乏可靠的和实际的随钻井进展构造应力而不中断钻井过程的方法。

[0018] 对于为什么需要连续过程有多个原因。不连续过程通常是有效的，但是它们在损失已经发生之后使用。因为如果流体不能循环回到地表，那么产生的钻屑不能从该井除去，所以钻井必须停止。同样，在停止和处理损失所需要的非生产时间期间，钻井设备成本花费继续。在目前的钻机速率下，该非生产时间可总计每天数万到数十万美元。其它影响可能具有甚至更大的利害关系。当损失发生时，井底压力下降至等于裂缝面 (FCS) 之间的闭合应力。井底压力的下降 1) 可引起井眼坍塌，使得层段必须完全重新钻，或者 2) 如果其刚好具有大于降低的井底压力的孔隙压力，那么其可允许另一个地带的烃流入井筒。该流入导致危险和耗时的井控操作。构造持续应力的方法使损失最小化，这样其不必停止钻井，并且也消除了可促成井眼坍塌的井底压力下降或井控事件。

[0019] 设计传统的钻井液以对流体流动到岩层的渗透具有一些程度的控制，所述渗透被称为“过滤损失”。当穿透渗透带时，形成基液的水或油开始移动进入地层的孔喉，并且大多数固体被剥除，留下的作为该洞的壁上的滤饼。损失的流体被称为滤液。在普通的实践中，设计钻井液系统以快速形成该滤饼，以便在该滤饼生长至太厚以前密封该表面。密封的目的是降低滤液的损失，并且最小化滤饼厚度的增长。当将大的材料例如 LCM 加入到钻井液时，由于这些较大颗粒的夹带，形成的滤饼变得更具渗透性。这导致更厚的滤饼，这增加了钻杆被卡的可能性。因此，操作员避免给整个钻井液系统增加较大的材料，以避免与厚滤饼相关的风险。当在过去使用高载荷的 LCM 时，其与固有地具有低滤液损失的基液相关。然而，在具有低滤液损失特征的钻井液中使用 LCM 的这种尝试已经证明在停止裂缝增长方面很大程度上不成功。

[0020] 已经提出用颗粒材料（而不是传统钻井液的较小固体细粒）进行循环液漏失处理方法两个模型；这两者都集中在利用特定大小的颗粒与压裂液滤失控制添加剂的组合以抑制裂缝增长。在美国专利号 5, 207, 282 (' 282 专利) 中提出一个模型，其公开防漏材料 (LPM) 的方法，该方法使用颗粒大小的组合以在靠近蔓延裂缝的顶端处产生桥接来防止裂缝增长。该方法需要应用特定浓度的颗粒大小 (250-600 微米范围) 以在靠近裂缝末端处形成塞，如在 ' 282 专利中所声明的，这样导致需要的应力增长。' 282 专利陈述“临界尺寸范围外的少量颗粒可以被容许，但是功效主要是由于存在有效量的临界尺寸范围内的颗粒”。该方法也要求裂缝末端的过滤损失有限，以便在最大末端产生低压区域。

[0021] 在美国专利申请公开号 2006/0254826 论述第二种提议的模型，其讨论了包括通过在裂缝与井筒交叉处产生和充填至裂缝的开孔来增加井筒周围压裂梯度的“应力笼 (stress cage)”概念。应力笼概念与美国专利号 5, 207, 282 的 LPM 方法相似，因为该 LPM 方法也依赖于应用具体设计的颗粒大小来停止裂缝增长。在该应力笼概念中，使用在相应于期望应力增长的裂缝宽度处不进入裂缝开孔的大颗粒。也包括全部范围的较小的颗粒以

封阻大颗粒之间的区域。提议 25 到 2000 微米大小范围内的桥堵材料。因为大的颗粒不能进入该裂缝并且较小的颗粒不能通过大的颗粒,因此可以说材料迅速地桥接裂缝开口。该系统也被设计以具有非常低的压裂液滤失量(2ml/30 分钟以下),以致极少的携带液可以通过颗粒进入该裂缝对裂缝加压。该概念是如果颗粒不能进入并且滤液不能通过,那么压力不能在裂缝内构建。井筒内的压力仍将驱使裂缝打开,但是开孔内的桥接阻止了压力传播。固体颗粒桥接维持着增加的宽度和相关的 FCS 增加。不管处理类型如何,已经表明井筒中给定裂缝宽度导致的应力随着裂缝长度延伸下降。应力笼方法的含意是必须非常迅速地形成桥接,以便在裂缝延长至必须封阻大宽度的点之前停止裂缝增长,以便使该方法成功。设计的颗粒可以不为足够桥接该宽度的大小,或者所需的颗粒大小对循环通过典型的钻进系统的部件可以不实用。应力笼概念认识到,周围岩石的渗透性起作用。已经假定,如果滤液渗漏通过该桥接的速率超过到暴露于该裂缝中的渗透的渗漏速率,那么压力将最终在该裂缝中构建,这样裂缝延长并且井筒处的应力将降低。作为结果,美国专利申请公开号 2006/0254826 陈述来自钻井泥浆的高温高压 (HT/HP) 压裂液滤失量应该小于 2 毫升/30 分钟,这大概是因为认为其足够控制典型的裂缝渗透率。

[0022] 对钻井时连续控制循环液漏失的方法存在需要,该方法适用于钻井通过低和 / 或高渗透性地带,所述地带可以在压力下衰竭,或者因为其它原因具有低的 FCS。优选地,该方法仅需要通常用于钻井作业的产品。因为井下条件的显著不确定因素,所以如果实际条件与假定的设计条件不同,那么该方法需要足够稳健以获得成功。必须成功适应的不确定因素的实例是达到期望应力增加所需的裂缝宽度、裂缝长度、岩石特性、渗透性、孔隙压力和油田程序执行中的可变性。

发明内容

[0023] 提供钻井同时连续处理循环液漏失的方法。使用高滤失量钻井液以及选择在当用高滤失量钻井液钻井时形成的裂缝中形成不动物质 (immobile mass) 的颗粒材料。在一些实施方式中,用高滤失量钻井液钻井可伴随补救处理,以消除在钻井期间可能在井眼面上形成的厚滤饼。

[0024] 作为一个示例性实施方式,本技术范围内的方法包括确定地层的井筒壁中裂缝的设计宽度、制备钻井液和使用钻井液钻井筒进入地层。钻井液包括携带液中的初始固体内含物。设计该钻井液以便提高初滤失量。随着其进入传播的裂缝,提高的初滤失量使钻井液的固体内含物浓缩,这样不动物质被留在裂缝内。不动物质防止裂缝的进一步增长。在一些实施方式中,钻井液中的固体具有至少部分基于确定的裂缝宽度选择的大小分布。例如,在与井筒交叉处至少 50% 的固体可具有在确定的裂缝宽度以下的大小。

[0025] 另外或可选地,本公开内容范围内的方法可包括制备具有大约 10ml 以上 API 初滤失量的钻井液,并且该钻井液包含在携带液中按体积计至少 10% 的颗粒处理材料。高的初滤失量浓缩颗粒处理材料以在钻井眼时形成的裂缝中形成不动物质。当在地层中钻井时,在井眼中循环钻井液。

[0026] 在一些实施方式中,可以至少部分基于正被钻井的地层已知的信息设计和 / 或制备本方法的钻井液。例如,在确定哪些颗粒、固体、细粒或其它材料将包含在钻井液中以及呈何种浓度和 / 或大小分布时,可考虑地层的渗透性和钻井液的性质。在一些实施方式中,

其中所使用的钻井液和固体可基于地层特性例如高渗透性或低渗透性进行选择 / 或设计。另外或可选地,地层和液体与固体的具体性质可以通过一个或多个模型的帮助进行分析,以帮助选择钻井液成分。

附图说明

[0027] 在阅读下列详细描述和在参考附图后,本方法的上述和其它优点可变得明显:

[0028] 图 1 是以米表示的深度对钻井期间的预期压力和压裂梯度的图,连同该井中套管柱的计划深度的图。

[0029] 图 2a 是根据本技术方面的钻井方法的示例性流程图;图 2b 是根据本技术方面的另外的钻井方法的示例性流程图。

[0030] 图 3 是可以使用本技术的典型钻井系统和相关环境的示意图。

[0031] 图 4a 是井筒周围垂直裂缝的平面图;图 4b 是充满颗粒不动物质的裂缝的平面图。

[0032] 图 5 是图解固体百分数和固体密度之间关系的图。

[0033] 图 6 是不同钻井液的初滤失量和滤失量的图。

[0034] 图 7 是具有不同悬浮剂的流体的滤失量的图。

[0035] 图 8 是具有不同颗粒大小的流体的滤失量的图。

[0036] 图 9a 是具有不同的颗粒大小和不同的添加剂的钻井液的滤失量的图;图 9b 是钻屑污染的钻井液的滤失量的图。

[0037] 图 10a 是高滤失量导致的厚滤饼的草图;图 10b 示出滤饼的扩眼处理的结果。

[0038] 图 11 是孔喉直径和砂岩渗透性的相关性。

[0039] 图 12 是商业化颗粒的颗粒大小分布的图。

[0040] 图 13 是在用低充填效率流体操作期间,在给定时刻裂缝中模拟压力和流体体积分数的图。

[0041] 图 14 是在用高充填效率流体操作期间,在给定时刻裂缝中模拟压力和流体体积分数的图。

[0042] 图 15 图解一定渗透率范围的两种不同钻井液成分的滤失模式特性。

[0043] 图 16 是钻井期间的预期压力和压裂梯度的图,连同该井中套管柱的平面深度图和实际深度图。

[0044] 图 17 是示出当使用本文公开的方法钻通地层时在该地层中形成的裂缝的裂缝识别测井。

具体实施方式

[0045] 在下面的详细描述中,本发明的具体实施方式连同其优选具体实施方式一起描述。然而,就下面的详述具体到本技术的特定实施方式或特定应用来讲,这意图只是例证性的并且仅仅提供示例性实施方式的简洁描述。因此,本发明不拟限于下面描述的具体实施方式,而是本发明包括落在所附权利要求的真正范围内的所有可选项、修改和等价物。

[0046] 转向图 2a,流程图显示与用于钻井眼进入地下岩层的本技术的一个方面相关的数个步骤。图 2a 中图解的方法代表本文称为钻井应力流体 (Drill Stress Fluid,DSF) 钻井方法 110 的技术的一个实施方式。通过该描述,图 2a 中图解的步骤的细节将变得更明显,

并且其在此以概括术语提出,用于本说明书剩余部分的综述和参考。DSF 方法 110 包括:方框 112,制备具有提高的初滤失量或高初滤失量的钻井液;方框 114,使用该钻井液钻井眼进入地层;和方框 116,在当用钻井液钻井时形成的裂缝中形成不动物质。DSF 方法 110 可包括多个另外的步骤。作为可以包括在本公开的 DSF 方法中的一个示例性和补充的步骤,图 2a 在方框 118 图解该方法可任选地包括确定裂缝的宽度,例如在井筒壁的交叉处的裂缝的宽度,或者通过本方法这样的裂缝将延伸到的期望宽度。另外或可选地,DSF 方法 110 的图解步骤可被更全面地定义。例如,图 2a 图解在 112 制备钻井液任选地可包括在 124 制备钻井液——其中钻井液中至少大约百分之五十的固体具有小于确定的裂缝宽度的大小。作为另一个实例,图 2a 图解制备钻井液可任选地包括在 122 制备具有至少大约 10 毫升的初滤失量和至少大约 10 体积百分比的颗粒材料。从本文说明书的其它部分将理解 DSF 方法 110 的其它方面。

[0047] 相似地,图 2b 提供本发明范围内的方法的综述。在图 2b 中,DSF 方法 110 以稍微不同的术语图解,进一步图解本公开范围内的 DSF 方法 110 的变型。另外地,图 2b 图解 DSF 方法 110,连同本文公开的钻井和应力处理 (DST) 方法 150。尽管本公开的 DSF 方法 110 可以与本文的 DST 方法 150 一起使用,但是这样的协作不是必须的。类似于图 2a,图 2b 的本讨论拟提供下文更详细描述 DSF 方法 110 和 DST 方法 150 的综述。在方框 10 中,计算或估计地层的最初压裂梯度。在方框 11 中,选择地层中需要的压裂梯度。在方框 12 中,与在地层中产生需要的压裂梯度的井眼的交叉处的预测裂缝宽度通过估计或计算确定。在方框 13 中,制备具有包括下列特征的钻井液:(1) 最大的实际总固体含量;(2) 损失携带液以形成不动物质的增强的能力;和 (3) 选择颗粒大小以增加沿窄裂缝移动的阻力。固体的主要功能是通过形成不动物质防止裂缝增长。在方框 14 中,钻井液被用于在地层中钻井眼。

[0048] 另外,DST 方法 150 的示例性组成在图 2b 中图解。当使用 DSF 方法 110 担心和/或观察到粘着时,可以实施 DST 方法 150。因此,DST 方法 150 包括在利用钻井液钻井期间监测钻柱上的转矩(方框 15)。可指示显著的滤饼增长正在发生的其它行为也可被监测。在方框 16,可以确定选择的转矩是否达到。如果选择的转矩没有达到,那么钻井作业继续(方框 17),同时继续监测转矩(方框 15)。如果选择的转矩达到,那么处理液的 DST 丸在地层上循环(方框 18),或者更具体地在待处理的层段中的井筒内循环,同时在跨越待处理的层段的井眼中旋转和上下移动稳定器。优选地,DST 丸具有 6 毫升/30 分钟以下的 API 滤失量。优选地,DST 方法 150 进一步包括移动钻柱的下端(方框 19)到处理的层段之上的步骤,并且循环钻井液选定的时间,此后移动钻柱的下端(方框 20)到地层下方,同时监测跨越处理层段的阻力(drag)。继续钻井,同时检测转矩(方框 21 和 15)。如果达到第二选择的转矩,那么重复循环丸、在井眼中移动稳定器、移动钻柱下端到地层上方和到地层下方同时循环钻井液的步骤(方框 18、19 和 20)。根据本文说明书的剩余部分,DST 方法 150 的其它方面将被理解。

[0049] 图 3 图解本发明可以有利应用的典型钻井系统和相关环境。陆基钻机 25 定位于穿透地下地层 27 的井筒 26 上。尽管在图 3 中描述垂直的陆基井,然而,得到本公开益处的本领域技术人员将理解本发明也在其它的钻井应用中获得应用,例如定向钻井和海上钻井。

[0050] 钻柱 28 悬挂在井筒 26 内,所述井筒 26 在上端具有套管 29,并且在下端无套管。钻柱 28 的下端包括钻头 30。钻井液或泥浆 31 通过泵 32 泵入钻柱 28 的内部,引导钻井液

向下流动通过钻柱 28。钻井液通过钻头 30 中的口离开钻柱 28,然后向上循环通过钻柱外侧和井筒壁之间的环形空间 33,如箭头所示。钻井液进行多种功能以促进钻井过程,例如润滑钻头 30 和运输在钻井期间由钻头产生的岩屑。岩屑和其它固体在钻井液内混合以产生“滤饼” 34,其也进行多种功能例如涂覆井筒壁。

[0051] 钻柱 28 进一步包括井底组件 (BHA),其一般称为 35。BHA 可包括多种具有下列能力的组件或装置,例如测量、加工或存储信息和与表面通讯。如图 3 所示,BHA 35 包括钻头 30、稳定器 (或定中心器) 36——其具有从其径向延伸的刚性叶片 37 和称为钻铤的厚壁管 38 的下面部分。图 3 仅示出一个稳定器 36 ;BHA 35 可具有多个稳定器。稳定器 36 包括一个或多个径向延伸的叶片 37,其帮助缓和钻柱“摇摆”的倾向并且当其在井筒内旋转时变成分散的。稳定器叶片 (stabilizer blades) 37 也刮擦井筒并且帮助控制滤饼聚集。

[0052] 参考图 4a,在因为井筒 40 中流体压力大于地层 41 中的完整性,所以垂直裂缝 42 已经在地层 41 中形成的深度处,示出正在钻通岩层 41 的井筒 40 的平面图。裂缝 42 在井筒处具有宽度 W 、在远离井筒的每个方向的长度 L 和沿着裂缝到末端 46 的裂缝面 44。流体漏失沿着裂缝面 44 出现。如果裂缝中末端处的压力大于保持末端闭合的地层 41 中的岩石应力,那么末端 46 延伸。在没有本公开方法的循环液漏失事件中,钻井液施加的压力延伸末端 46 并引起裂缝长度增长。宽度仍然相对窄,但是随着裂缝继续增加长度,其将加宽。

[0053] 图 4b 类似于图 4a,只是不动物质 48 在裂缝 42 中形成。在图 4b 中,不动物质 48 占据长度 L_{TM} 。由于携带液滤失 (在附图中没有示出),发生不动物质 48 的形成,所述携带液在其损失后被称为滤液。滤液损失通过两个途径发生。第一,跨越部分长度 L_{TM} , 渗漏入裂缝面 44 的渗透将发生。第二,当固体变成不动的,滤液可流经固体到达末端 46。随着携带液作为滤液损失时,固体在裂缝中浓缩形成不动物质 48,其一般在裂缝中与裂缝末端 46 间隔的一些点处开始形成,所述间隔图解为长度 L_F 。在裂缝 42 中不动物质 48 的形成将裂缝分成两个区域:1) 称为 L_{TM} 的不动物质区;和 2) 称为 L_F 的滤液区。不动物质区和滤液区之间的过渡在本文被称为顶点 47。当通过继续过滤携带液通过不动物质 48 而不动物质增长时,优选地,不动物质在井筒或远离裂缝末端 46 的方向增长。已经观察到,如果不动物质区 L_{TM} 的长度不增加,来自井筒的整个泥浆损失被有效地阻止。随着滤液穿过不动物质,并且在滤液区 L_F 中构建的压力等于该区域中最小的岩石应力时,末端 46 将打开并且可增加长度以减轻压力增大。然而,超过 L_F 区长度的裂缝宽度将是极窄的,其为允许流体通过所需要的宽度的量级。

[0054] 已经发现,如果不允许固体施压于不动物质范围外的裂缝,例如在顶点 47 处或顶点 47 以外,那么不动物质范围外的裂缝的宽度没有明显增加。在线性弹性岩石力学中完全确定的是,裂缝宽度由在裂缝内构建净压力以挤压相邻岩石来确定。DSF 的行为是复杂的,这是因为它具有可独立地在顶点 47 处作用以施加力的两种组分,一种是液体,另一种是固体。没有被理论所束缚,目前认为顶点 47 处的裂缝宽度将由流动组分施加的压力决定。如果只有液体是流动的,那么一旦其宽度适于容纳液体流,顶点 47 处的裂缝宽度将停止增长,该宽度是相当窄的。如果固体是流动的,并且能在顶点 47 处施加力 (即,除了在顶点本身处形成的不动物质 48 外),裂缝顶点 47 处的宽度将增加,直到其适于接受固体。有限元模型 (Finiteelement modeling) 示出对于给定宽度 $W1$ 在井筒 49 处达到的 FCS 增加高度依赖于顶点 47 处的宽度。如果固体可被制成不动的,这样它们不能施加力以加宽顶点 47

处的裂缝,那么 FCS 大的增加可以在 49 处完成。DSF 被设计具有高的滤失量,这反应流体穿过固体而没有显著阻力或抵抗力的能力。如果流体没有给固体施加相当大的力,那么固体被阻止施加足够的力来加宽顶点 L_{TM} 47 处的裂缝。通过模型也示出顶点 47 处非常小的宽度没有大大地减少井筒 49 处的应力。井筒周围的应力状态主要是跨越该区域 L_{TM} 的裂缝的宽度和锥度的结果,如果顶点 47 处宽度小于几微米,那么应力状态不会大大地变化。滤液施压于顶点 47 和 / 或滤液区 L_F 以产生几微米宽度的能力没有显著地减少井筒处应力增加,或者能实现的完整性。因此,本技术的实施寻求迅速地固定固体,并且防止移动的固体施压于末端,然而不必防止滤液渗透到末端。

[0055] 随着钻井的进展,如果井眼压力超过地层完整性,那么在井筒壁开始裂缝。当根据本 DSF 方法钻井时,钻井和应力流体 (DSF) 进入该裂缝,并且其迅速地损失其携带液进入可渗透的裂缝面,使得包含在 DSF 中的固体变成不动的。携带液 (滤液) 也可通过流过固体到达末端而损失。当携带液泄漏时,形成不动物质的钻井液中的颗粒在裂缝内浓缩。不动物质中的颗粒停止向裂缝末端传递压力。当不动物质开始支撑井筒压力时,通过增加对固体的反压力加宽裂缝 (尽管一些量的滤液可继续穿过增长的不动物质)。随着裂缝加宽支撑井眼压力,不动物质的厚度和宽度将增加。如果不动物质是有效的,阻塞将支撑全部井眼压力,并且裂缝的宽度 (和相关的移动的物质) 将增加,直到其闭合应力也等于该压力。裂缝将填满固体,并且闭合应力将永久地截留 (trapped)。因为新的闭合应力将等于井眼压力,滤失量将被控制。因为裂缝开孔压力也等于闭合应力,当用 DSF 方法钻井时的流体压力基本上产生支撑该压力所需的应力。

[0056] 参考图 4b,用基本上脱水的、有效“截留”增加的闭合应力的固体从长度 L_{TM} 的末端返回至裂缝嘴 49 堵塞裂缝 42。在井筒中压力降低后,该应力将固体保持在适当的位置。如果未来的井眼压力不超过该应力,那么显著的循环液漏失不会发生。该应力以上的井眼压力应该避免以最小化裂缝可进一步加宽的风险,该风险可引起裂缝中固体绕过或沿裂缝冲掉。最后,必须建造足够的裂缝宽度,并通过不动物质维持 (即通过逐渐的压力增大达到的足够的闭合应力),以便闭合应力超过随后的钻井作业产生的井眼压力,这可大于钻处理的地层层段或地带所需要的闭合应力。控制的压力增大可通过逐渐地增加井眼压力同时监测对固定裂缝的影响来完成。另外或可选地,压力可通过类似于间歇挤水泥 (间歇压挤, hesitationsqueeze) 的一个或多个压挤构建。例如,井可以闭合,并且可以用钻井用泥浆泵施加压力以在邻近待被加宽的裂缝的井筒中进一步使用 DSF 加宽裂缝。然后,该裂缝可以可控地填充固体,以便增加裂缝宽度和应力以满足计划的或期望的钻井作业的需要。

[0057] DSF 方法中具有四个设计原则,它们共同地或各自地产生期望的有益结果:(1) 增强滤失率以加速不动物质的形成;(2) 挑选具有大小分布、形状和 / 或内部渗透性以达到低充填效率、流体内摩擦和 / 或高滤失量的颗粒;(3) 最大化携带液中 LCM 的浓度以减少形成不动物质所需要的漏失;和 (4) 选择固体的颗粒大小以增加对颗粒向下运动到裂缝的抵抗性,以便滤液流体更可能流过不动物质至裂缝末端。DSF 方法的一个区别特征是其通过形成固体的“不动物质”实现裂缝末端隔离,而不是通过用特定大小的颗粒堵塞。DSF 方法实现了不动物质的快速形成,并减轻在用高滤失体系的操作中经常固有的钻杆被卡的风险。由于钻井液的高初滤失量,不动物质迅速地形成。此外,已经观察到,根据本公开的 DSF 钻井液形成具有极低剪切强度的滤饼 (即低的有效颗粒应力),这减少钻杆被卡的风险。

[0058] DSF 方法在裂缝内快速地连续构建应力和产生不动物质,以至它不允许全部泥浆显著损失发生。在新暴露的岩石中,连续建造完整性的方法要求独特的设计考虑,其在下面论述。图 2a 和 2b 可有助于提供这些设计考虑的综述。正如以上与图 2a 和 2b 相关的讨论,DSF 方法包括制备钻井液、用钻井液钻井眼和在当钻井时形成的裂缝中形成不动物质的步骤,所述不动物质从钻井液的颗粒形成。对于实践本发明,可与这些步骤一起描述的另外步骤可以在适当时实施但不是必需的。

[0059] 图 2b 图解数个与 DSF 方法 110 相关联的准备步骤。例如,地层层段的最初压裂梯度可是在方框 10 确定(例如通过测量、模拟、估计等),并且在方框 11 处选择需要的压裂梯度。需要的压裂梯度可以基于任何类型的因素进行选择,所述因素包括井筒中其它层段的压裂梯度。参考图 1,例如,为了钻地带 A,压裂梯度必须从大约 8ppge(磅/加仑当量)——该具有减小孔隙压力的地带中估计的压裂梯度——增加到大约 9.8ppge——当量循环密度。因此,所需的井筒完整性的增加为 1.8ppge。为了挤压相邻岩石并实现完整性增加,必需在将在图 1 的地带 A 中形成的裂缝内构建压力。

[0060] 已经确定最初的压裂梯度和需要的压裂梯度后,则可能预测或以其它方式确定将产生需要的压裂梯度的裂缝的宽度。例如,目标裂缝宽度可被称为“设计宽度”。基于达到所需要的或选择的地质应力增加的计算或经验,设计宽度可被限定为井眼处裂缝的宽度。为了计算目标裂缝宽度,基于岩石力学原理的数值模型可被使用。这样的模型在工业上是可得的,并且是数值模拟领域的技术人员熟知的。用于该模型的选择地带的岩石特性和该地带的其它物理特性可以使用公知的方法,从该地带的钻井记录和其它资料估计。如果计算裂缝宽度,那么可假设多个裂缝长度值,并且计算预期的井眼压力所形成的裂缝宽度。例如,可以假设 0.5 和 10ft 之间的长度。应该选择设计宽度以便在合理的实际长度范围内处理将成功,这是因为关于不动物质如何迅速形成总是具有不确定性。可选地,设计宽度可从在相似条件下钻所述选择地带的先前经验估计,或者从在其它的井中放置处理材料的经验估计。导致并包括设计宽度确定的步骤可以在 DSF 方法 110 中实施,或者可被省略,如在图 2a 中图解的。当包括时,确定的设计宽度可告知 DSF 流体的颗粒材料的选择。

[0061] 例如,形成不动物质的颗粒处理材料可至少部分基于确定的裂缝宽度进行选择。在一些实施方式中,可以选择颗粒处理材料以提供如此颗粒大小分布:其具有至少 50% 的、大小在裂缝的设计宽度以下的颗粒。由于可被包括在 DSF 中的颗粒构造的多样性和在本方法过程中可能的颗粒形状变化,本文对颗粒大小的提及是对裂缝处颗粒有效尺寸的提及。因此,其大小在裂缝宽度以下的颗粒是在裂缝位置的条件(例如压力、温度等)下适合在裂缝内的颗粒。与在先的方法——其寻求用大颗粒塞住或阻塞裂缝开孔——相反,本方法在裂缝内从小于确定的裂缝宽度的颗粒形成不动物质。

[0062] 在本方法中,无论计算或以其它方式考虑确定的裂缝宽度,钻井液可包括按体积计至少大约 10% 的颗粒处理材料。优选地,按体积计至少大约 20% 的流体是允许裂缝高初滤失量的颗粒处理材料。钻井液中总的颗粒材料——被认为是钻井固体和处理材料——可优选地为按体积计大约 30%。当小于所需要的裂缝宽度的颗粒优选形成不动物质时,可以包括一些量的比所需要的裂缝宽度的颗粒大的颗粒。例如,更大的颗粒可包括在 DSF 中以适应(accommodate)裂缝宽度确定中的不确定性。另外或可选地,在目标裂缝宽度没有确定的实施方式中,一系列颗粒大小可被包括以适应可能合意的裂缝宽度的范围。一个示例

性 DSF 可在携带液包括按体积计 20% 的颗粒处理材料, 其中至少 50% 的粒度范围小于裂缝 (无论确定与否) 的宽度 W_1 (参见图 4b)。在另一个实例中, 颗粒材料的体积浓度可以为 22%, 其中大约 90% 的材料小于计算或估计的裂缝宽度。可以使用任何种类浓度的组合, 条件是 DSF 流体中颗粒材料允许高初滤失量。示例性 DSF 流体包括按体积计至少大约 10% 的颗粒处理材料和 / 或包括其中至少 50% 的尺寸小于确定的裂缝宽度的固体。

[0063] 在选择在钻具有低压裂梯度的地带 (例如如图 1 的地带 A) 期间形成不动物质的固体方面, 可以选择具有如此比重的颗粒材料, 以便当混合到所需要的密度时总固体含量按体积计在 20% 和 45% 之间。例如, 一般地, 轻质 DSF 流体包含坚果壳 (S. G. = 1.2), 中范围密度流体包含碳酸钙和压裂砂 (S. G. = 2.65), 以及高密度流体包含粗糙的重晶石 (S. G. = 4.2)。材料的强度或弹性与方法不相关。优选地, 最大化固体含量以减少必须损失以获得不动物质的流体量。较低浓度的固体在具有更大生产压差的较高渗透率地带可以是有效的, 在那里滤失率可能更大。较低的渗透率或较少的生产压差可得益于使用较高浓度的颗粒材料, 以便需要较少的漏失以获得不动物质。

[0064] 优选地, 使用的固体浓度为可以可靠地循环和悬浮的最大量。不存在阈值要求。起始固体浓度越高, 形成不动物质需要的滤失量越少。图 5 表明起始固体浓度相对小的改变可对需要的滤失量具有大的影响。图 5 是柱状图, 其显示柱 50、51 和 52, 其图解来自三个 LCM 的初滤失量: 坚果壳、石墨和压裂砂。所有实例都是关于用不同量的 LCM 54 和重晶石 55 混合以具有 13.7ppg 的密度的流体。在第一柱状图 50 中, LCM 为坚果壳, 其具有 1.2 的比重。在第二柱状图 51 中, LCM 是石墨, 其具有 2.1 的比重。前两个实例显示分别具有大约 30% 总固体 (72.7% 水) 和大约 40% 总固体 (62.2% 水) 的流体设计。当具有较低固体浓度的流体仅包含 10.5% 以上的水时, 其可能需要损失 100% 以上体积以形成不动物质。这是因为为使固体变成不动的, 不必损失所有的水; 唯一必需的是降低含水量至临界阈值, 在该值固体开始显示固定性。在图 5 中, 图解 39% 的含水量 (显示为虚线 53) 作为临界阈值。最初的流体含量越接近地开始于该阈值, 则需要的体积损失越小。因此, 在该实例中, 石墨是比坚果壳更好的 LCM。然而, 这种优选在地层与地层之间不同, 这取决于例如地层的渗透率等之类的因素。

[0065] 图 5 中第二和第三柱状图 51 和 52 示出 LCM 密度的选定也是关键的, 这是因为这决定可被置于流体内并还保持泵送性能的 LCM 的最大浓度。在这种情况下, 最大允许的固体含量假定为按体积计 40%, 并且设计丸密度为 13.7ppg。如果使用中等密度的 LCM (2.1 比重), 那么对于 28.5% 的体积, 由该材料组成是唯一的可能, 并且剩余的必须是高密度重晶石, 或者总固体含量超过 40% 设计阈值。如果使用高密度材料例如碳酸钙 (2.6 比重), 那么对于全部 40% 固体含量为 LCM 是可能的。照这样, LCM 被用作堵漏材料和加重剂。

[0066] 一般而言, 对于低密度钻井液通过使用低密度 LCM 最大化固体含量, 这是因为利用较高密度 LCM 例如碳酸钙将不允许在 LCM 本身引起流体密度增长超过设计参数以前加入大量产物。相反地, 在较高密度流体中通过使用高密度 LCM, 最大化大小选择的 LCM 材料的浓度。该设计考虑反应了最大化固体含量以减少形成不动物质所需的滤失量的目标。

[0067] 尽管颗粒材料浓度的选择和颗粒大小分布的选择可以为本方法的一部分, 但是成为这些选择中每一项的根据的设计考虑是钻井液被制备以具有高 API PPA 初滤失量, 在一些实施方式中, 跨越多孔介质, 初滤失量优选地大于 10ml, 其中该多孔介质具有代表损失地

带的渗透率、压力差和温度。更优选地,初滤失量可大于 15 毫升。初滤失量应该根据用于水基压裂液的 API Recommended Practice 13B-1(2003 年 12 月第三版)或用于油基压裂液的 API Recommended Practice 13B-2(2005 年 5 月第四版)提出的方法测量。初滤失量是滤饼开始生效以前滤液损失率的量度。因为在 DSF 方法中裂缝增长被迅速停止以限制其长度,该测量早期滤失行为的方法被认为最适合于确定设计标准。其它的方法使用更长时期试验,例如用于应力笼方法 (API Recommended Practice 13B-1) 中的 30 分钟高温高压 (HTHP) 滤失检测。尽管初滤失 (spurt) 和 HTHP 试验使用不同的试验方法,但是 DSF 目标初滤失量大于 15 毫升的流体通常具有大于 50 毫升 /30 分钟的 HTHP 损失。值的对比图解 DSF 处理和应力笼处理之间的设计原理上的基本差异。应力笼方法需要小于 2 毫升 /30 分钟的 HTHP 滤失量,而 DSF 方法优选通常导致大于 50ml/30min 的 HTHP 滤失量的初滤失量。10 毫升的目标 API 初滤失量在油田应用中已示出产生好的结果,并且其为用普通基础携带液可以实现的值。在较高渗透率损失地带,高得多的初滤失量也是可能的。然而,大于 10 毫升的 API 初滤失量是可接受的设计阈值,并且优选地超过 15 毫升。

[0068] 图 6 图解对于不同钻井液的初滤失量和滤失量试验的结果。第一个柱状图 60 显示用 12.0ppg 的具有悬浮于增粘油中的 API 重晶石的钻井液进行初滤失量试验的结果。在该试验中,重晶石细粒提供形成滤饼的阻塞材料 (blocking material)。当加入堵漏材料 (LCM) 时 (柱状图 61),因为滤饼中包含粗物质,初滤失量增加。LCM(400 微米石墨)的作用基本上是减少重晶石细粒的阻塞效率。第三个柱状图 (62) 显示如果从重晶石中除去细粒 (小于 30 微米的颗粒) 并且仅使用 LCM,对初滤失量的影响。尽管使用提高滤失量的 LCM 导致初滤失量的双倍增加,但是重晶石细粒的消除引起初滤失量的十倍增加。基于该结果,本文公开的方法的一些实施优选地使用具有大约 30 微米以上的固体颗粒的钻井液 (即使大多数细粒除去)。第四个柱状图 63、第五个柱状图 64 和第六个柱状图 65 代表同样材料在较长时间段的总的滤失量 (cc/30 分钟)。相关结果是相似的。根据 API Recommended Practice 13-B-1 或 B-2 进行所有试验。

[0069] 如果重晶石用于在 DSF 方法中使用的钻井液中,那么优选在流体相中使用没有大大地增粘水或非水流体的悬浮剂。图 7 显示降低的黄原胶浓度 (曲线 71、72 和 73 分别代表 6.0、1.25 和 0.5 磅 / 桶 (ppb)) 对水基体系的滤失量的影响。通过使水增粘,悬浮黄原胶,并且较高流体相粘度降低滤失量。曲线 74 显示使用 15ppb 的绿坡缕石作为悬浮剂的作用。绿坡缕石是天然存在的、在水中不会大量水合的粘土。因为粘土针状体连锁,其阻碍材料通过细的悬浮粘土颗粒沉淀,但是水自由地流过,所以其对滤失量具有最小的影响。由于这个缘故,绿坡缕石是 DSF 方法中优选的悬浮剂。如果使用重晶石,绿坡缕石特别优选,其可包含有效地填塞和提供对已经增粘的水流动的附加阻力的细阻塞固体。可以使用其它的具有类似于绿坡缕石特征的悬浮剂,具体而言,能够悬浮颗粒而同时没有稠化流体。

[0070] 在本文公开的 DSF 方法中,通过使用材料形成具有窄颗粒大小分布的不动物质 (LCM),也可提高滤失量。图 8 显示在具有绿坡缕石作为悬浮剂的 12 磅 / 加仑 LCM 的钻井液中不同大小混合材料对滤失量的影响。粗重晶石 (曲线 81) 允许非常高的滤失量。因为存在细粒,API 重晶石 (曲线 82) 允许更少的滤失量。大小范围在 20/40 筛孔的裂缝支撑砂 (曲线 83) 具有均匀分布和低的细粒含量,并且允许非常高的滤失量。用两种 API 重晶石和较粗物质进行的试验 (曲线 84、85 和 86) 显示由于提高的充填效率而造成的显著低的

滤失量。50/50 混合物（曲线 86）显示最低的滤失量，而 25/75 或 75/25 混合物（曲线 84 和 85）显示较高的滤失量。基于这些结果，优选地，本文公开的方法使用具有均匀大小或窄大小分布和最小 API 重晶石的 LCM。

[0071] 尽管一些实施方式优选地可最小化细粒浓度（例如小于大约 30 微米的颗粒）以增加 DSF 流体形成的不动物质的初滤失量，但其它的实施方式可具有阈值下限或可基本上对细粒不敏感。作为如此实施方式的一个实例，适于本文描述的方法的 DSF 流体可包括硅藻土颗粒。硅藻土以多种大小分布可得（一般地具有 27-40 微米范围内的平均尺寸），它们中大多数是具有一般将减少初滤失量的颗粒范围内的颗粒的粉末。硅藻是微米级动物的微观骨架残骸，其形状不规则，并且具有显示渗透性的内部微小流动途径。骨架结构包含允许流体穿过颗粒本身的通道。当这微小流动途径被掺入不动物质（滤饼）中时，它们没有降低初滤失量或滤失量，但是增强滤饼的传输率，并因此增强初滤失量和过滤损失。尽管硅藻土已经用于过滤应用，并且在过去用于钻井作业，但是它在增加由在裂缝中形成以防止循环液漏失的不动物质所显示的初滤失量方面的应用是违反直觉的。

[0072] 图 9a 和 9b 图解示出添加硅藻土到 DSF 流体对滤失量影响的代表性试验数据。在图 9a 中，对不同的样品 DSF 流体，绘制随时间滤失量，其中每种流体具有坚果壳作为形成不动物质的主要颗粒材料。在每种样品中，DSF 流体的总固体浓度为按体积计大约 30%。另外地，在大约 200° F、在大约 1000psi 和在具有大约 1 达西渗透率的称为铝砂阿洛克塞特盘的模拟地层中进行每一试验。线 130 代表用具有 40 微米 D50（平均尺寸）的坚果壳制成的 DSF 流体的滤失量。如所见，与其它样品相比，具有这样小颗粒的 DSF 流体的滤失量是低的。线 132 代表由具有 400 微米 D50 的坚果壳制成且还包含按体积计大约 4% 的模拟钻屑的 DSF 流体的滤失量。如所见，模拟真实井筒类型条件并包含模拟钻屑的该 DSF 流体的滤失量是图 9a 考虑的流体中最低的。

[0073] 继续参考图 9a，线 134 和 136 代表具有大约 400 微米 D50 的坚果壳的 DSF 流体试样（线 136）和具有颗粒大小分布在大约 200 和大约 600 微米之间的坚果壳的 DSF 流体试样（线 134）随时间的滤失量。正如以上讨论的和这里显示的，掺有具有较窄大小分布的 LCM 材料的 DSF 流体（线 136）比掺有一定大小范围颗粒的 DSF 流体（线 134）提供更大的滤失量。另外地，线 134 图解甚至更大尺寸范围的颗粒比具有一致小颗粒的 DSF 流体提供更大的滤失量，如线 130 图解的。图 9a 也图解加入硅藻土到 DSF 流体的影响。线 138 绘制由具有大约 400 微米的 D50 和包括按体积计大约 2% 硅藻土的坚果壳制成的 DSF 随时间的滤失量。为了维持固体总的体积百分数在大约 30% 之下，坚果壳的量被减少以适应较小颗粒替换较大颗粒的硅藻土。按照线 130、132、134 和 136 的建议，用较小颗粒替换较大颗粒将表现出减少滤失量。然而，如线 138 所示，掺有硅藻土的 DSF 流体显著地增加滤失量。在试验达到 10 分钟之前，图 9a 的线 138 停止，这是因为滤失量是非常高的，以致它已经吹干。

[0074] 线 136（400 微米）和线 132（400 微米 + 模拟钻屑）之间的对比揭示，试验条件中 DSF 流体的操作不可能与在油田作业中同一 DSF 流体的操作相同。这里显示的实例揭示天然存在于环状空间中的钻井泥浆中的钻屑可减少初滤失量和滤失量低于可以从试验条件所预期的。因为在钻井作业期间不可能控制钻屑的大小分布，所以选择 LCM 颗粒大小分布以减少钻屑产生的充填效率如果可能也是困难的。图 9b 图解污染了钻屑的三个 DSF 流体试验的结果，这些试验也在大约 200° F 和 1000psi 下使用具有大约 1 达西渗透率的模拟

地层进行。图 9b 的线 140 呈现使用 400 微米坚果壳和按体积计大约 4% 的模拟钻屑的试验的结果。可以看出,图 9b 的线 140 与图 9a 的线 132 相应。线 142 和 144 图解当将硅藻土以增加的浓度加入到同一 DSF 流体(即 400 微米坚果壳和按体积计 4% 钻屑)中时的结果:线 142 为按体积计大约 2% 的硅藻土浓度,和线 144 为按体积计大约 5% 的硅藻土浓度。考虑图 9b 中绘制的三条线,可以看出加入硅藻土增加 DSF 流体样品的滤失量和初滤失量。比较图 9a 和 9b,可以看出由线 138 和线 144 代表的试验都吹干,而线 144 代表的试验(具有 400 微米坚果壳、4vol% 模拟钻屑和 5vol% 硅藻土)在 20 分钟后吹干,而不是如线 138 在大约 7.5 分钟后吹干。

[0075] 图 9a 和 9b 图解增加初滤失量的设计目标可以通过使用硅藻土作为 DSF 钻井液中的一个成分来实现。硅藻土尽管适用于本发明,但是仅仅是可包括在 DSF 钻井液中的可渗透颗粒材料的一个实例。可以使用任何可渗透介质,例如微米管、纳米管、微米管组合物、纳米管组合物等。例如,微米管或纳米管可作为分开颗粒被加入到 DSF,或者在加入前或在 DSF 中,可被聚集在一起以形成微米管或纳米管的组合物。相似地,除了硅藻土或其它的可渗透介质,纤维膜的组合物可被加入到 DSF 中,或者用来代替硅藻土或其它的可渗透介质。一个示例性实施方式可利用需要纳米管或纤维膜更大精确性的其它方法的废料。当包括在 DSF 中时,可渗透介质不具有严格的空間要求或设计要求,正如对于这些技术的更传统用法其可处于适当的位置。因此,来自微米管制造过程中的碎片、废料或废品可被加入到 DSF 中。相似地,经常制造具有一个几何形状纤维膜,并且修整该纤维膜以适合特定的应用。修整可相似地在 DSF 流体中使用。例如,膜材料可被破碎、粉碎或另外加工以将膜减小为适当大小的颗粒。如从示例性硅藻土可见的,可渗透介质的适当大小的颗粒可小于 30 微米。另外或可选地,可以挑选可渗透介质以比得上 LCM 材料的大小。例如,坚果壳可以部分地或完全地用具有大约 400 微米或确定适合裂缝的适当尺寸的颗粒大小的可渗透介质代替。尽管废料可被用于 DSF 时,特定设计的可渗透介质颗粒也可用于 DSF。

[0076] 尽管图 9a 和 9b 提供具有按体积计 2% 和按体积计 5% 硅藻土浓度的 DSF 钻井液性能的代表,但是这些仅仅是可被制备的 DSF 流体的实例。取决于特定钻井液希望的初滤失量(DSF 流体的另一个设计参数)、LCM 材料和地层渗透率等,或多或少可渗透介质可被加入到 DSF 中。当包括可渗透介质时,示例性组合物可包括介于按体积计大约 1% 和按体积计大约 30% 之间或更多(例如当可渗透介质也提供 LCM 材料时)。

[0077] 除可渗透介质提供的增加初滤失量的明显益处之外,可渗透介质的包含减少了应用具有窄颗粒大小分布的 LCM 材料的需要。而且,使用多种大小颗粒的能力可允许操作员用同一 DSF 钻井液处理较宽范围的裂缝。当钻井液中的其它颗粒产生高充填效率时,在 DSF 钻井液中包括可渗透介质可提供需要的至少 10 毫升初滤失量的钻井液。甚至当有效地充填裂缝时,可渗透介质促进高初滤失量,这使移动的物质能迅速地形成,如上所述。

[0078] 现在返回图 2a 中图解的 DSF 方法 110 的综述,在制备 DSF 钻井液后,当钻井地层时,钻井液在井眼中循环。尽管 DSF 流体在钻井期间在井眼中,但是形成的任何裂缝通过在该裂缝中形成的不动物质得到有效地控制,如上所述。

[0079] 本 DSF 方法的试验实施方式揭示在用 DSF 流体钻井期间形成的滤饼显示出低的剪切强度,这最小化了钻杆被卡的风险和其它相关的担心。然而,在本方法的一些实施方式中,地层的渗透率和 / 或 DSF 流体的特性可使操作员担心形成滤饼的厚度和 / 或剪切强度。

在这样的实施方式中,上述 DST 处理 150 可伴随本文描述的 DSF 方法。DST 处理 150 包括监测钻柱的转矩和当转矩接近一些阈值时运用补救处理。DST 处理 150 的另外的原理在图 2b 示出和 / 或如下所述。

[0080] 本公开范围内的 DST 处理利用井底组件 (BHA), 其在钻头上方具有至少一个稳定器, 以便扩井眼。优选地, DST 处理使用两个或三个稳定器或足够的稳定器以防止钻铤与井眼壁接触。稳定器制约钻井和密封处理 (DST 处理) 期间的滤饼。当稳定器旋转时, 滤饼和许多最初的固体装载基础滤饼被剥离。图 10a 显示钻屑 92、重晶石 94 和过滤控制材料 (微粒) 96 形成的厚滤饼。每一次, 通过转动叶片再次暴露基础滤饼, 来自滤饼中更接近开孔放置的泥浆的颗粒有机会被俘获。近处放置的颗粒由跨越滤饼的压力差更坚固地保持, 而较大的颗粒更可能通过稳定器或流过的流体被剪切离开。稳定器叶片的每个旋转允许该“细粒选择”过程重复。最后, 滤饼面被阻隔下至 1 到 5 微米范围, 在该范围过滤控制材料可被有效地俘获, 如在图 10b 中所示。在这一点上, 滤饼将是薄的, 因为其被刮擦至稳定器直径, 并且其保持相对薄, 这是因为通过过滤控制材料 96 其被有效地密封。

[0081] DST 处理方法利用在处理期间泵送入井筒的 DST 丸。适当的 DST 丸在估计的井底温度下可具有小于 6 毫升 /30 分钟的 API HTHP 滤失量 (如通过上文引用的 API 试验测量的)。优选地, 该丸包含最少 10ppb 的“阻塞固体”, 优选地, 选择阻塞固体具有估计等于估计的孔喉大小除以 2.5 的平均粒度直径 (D50)。应该使用该阻塞固体的浓度, 而无论是否需要达到 6 毫升 /30 分钟的 API HTHP 阈值以确保 DST 丸在给定渗透率是有效的。该丸大小通常为 30-50bbls。因为当井筒中滤饼太厚或者另外质量差时运用 DST 处理, 所以 DST 丸被设计以非常有效地替换差质量滤饼——因为其被剥去以形成非常高质量的滤饼, 如在图 10b 中所示。该方法寻求用在厚度方面不会再次增长的薄的、低渗透性滤饼替换这种差质量 (厚和 / 或渗漏的) 滤饼。替换滤饼的形态与任何滤饼具有的形态相同, 但是其控制滤失量的特性增强。

[0082] 在丸设计中确定具体的过滤阈值和阻塞固体的建议基于有效滤饼的形态。滤饼由两个主要特征 (阻塞控制和过滤控制) 构成, 并且每个必须在有效的流体中是有效的。阻塞控制通过沉积于暴露在井眼表面的孔喉中阻塞固体层提供。通过阻塞孔喉开孔, 这些固体防止其它的固体进入。在该处理设计中, 地带的岩石中最可能的孔喉尺寸可以从渗透率、孔隙度和喉道大小之间的相关性估计, 例如 Pittman 相关性 (E. D. Pittman, " Relationship of Porosity and Permeability to Various Parameters Derived from Mercury Injection-Capillary Pressure Curves for Sandstone, " AAPG Bull. 76. No 2, p. 191, 1992)。砂岩的 Pittman 相关性的实例在图 11 中示出。尽管较小颗粒可最终是有效的, 但是理想的阻塞颗粒可以采用孔喉直径除以 2.5 或平均设计颗粒 = 孔喉 /2.5。在所示实例中, 对于 1 达西砂岩, 计算标称孔喉大小为 45 微米。该 2.5 规则建议理想阻塞颗粒应该为 $45/2.5 = 18$ 微米。

[0083] 所有的商业上可获得的阻塞颗粒的产品用一定大小分布的颗粒制造。因此, 用户必须确定具有跨越要求值的大小范围的产品。图 12 示出四个产品的大小分布曲线。在需要 18 微米材料的实例应用中, 使用的产品是 Baracarb 25, 其具有大约 25 微米的 D50 大小, 并且其 60% 的颗粒大于需要的 18 微米。水基丸可以用 20-30ppb 的该产品加足够的重晶石构造以达到需要的流体密度。

[0084] 对含水和无水流体,阻塞固体设计是相似的。然而,过滤材料设计可以不同。在无水流体中,内部水相可起过滤控制的功能。小的水滴用提供高表面张力的表面活性剂形成,并且整个小滴抵抗通过小空间例如滤饼中孔隙空间或孔喉的挤出。在含水系统中,存在多种产品——可用于降低通过阻塞固体的滤液流的离子和非离子产品,并且选择将取决于情况的性质。阻塞和过滤控制产品类型在 DST 方法中没有规定,并且可根据泥浆类型和有效性变化。DST 丸的设计目标被规定,其要使用实现小于 6 毫升 /30 分钟的 API HTHP 滤失量的产品组合。

[0085] 总而言之,设计在钻井和密封处理方法中使用的丸以解决实现低滤失量、高质量滤饼的快速沉积所需要的阻塞和过滤控制。该丸具有下列特征:1) 阻塞固体,基于估计的最大孔喉尺寸选择,并在 20ppb 以上的浓度下使用;2) 重晶石固体,达到需要的预定密度所需;3) 选择过滤控制材料以达到小于 6 毫升 /30 分钟的 API HTHP 滤失量。满足上述特征的适于具体应用的阻塞固体的类型和过滤控制材料的类型可以由本领域技术人员基于本公开的教导进行选择。

[0086] 在钻井期间,随着 DST 丸被制备和钻柱的转矩被监测,DST 处理进一步包括当监测的转矩达到确定指明需要 DST 处理的选择转矩时,停止钻井作业。在那点,钻井可被停止,并且 DST 丸以缓慢的速度循环通过新暴露的地层,同时用稳定器上下移动并扩眼该层段。稳定器调整的层段将等于钻头与顶端稳定器之间的距离加上下移动时的垂直位移。在一些实施方式中,可能需要根据 DST 处理方法调整所有的可渗透层段。可选地,仅处理显示不希望的高转矩的选择层段。优选地,DST 方法可使用 DST 丸体积和慢泵速率的组合以实现扩眼时暴露于丸 10 分钟以上。在已经运用 DST 丸,并且旋转和上下移动稳定器适当的一段时间例如 10 分钟后,通过选择上面新调整的层段并缓慢旋转预定时间例如大约 5 分钟,继续 DST 处理。然后可停止旋转,并且钻头回到底部。如果当运转钻头至底部时阻力太大,那么可以重复 DST 处理方法。如果不是这样,可用 DSF 流体继续钻井,如上所述。

[0087] 与前面讨论的 LPM 和应力笼方法不同,本文公开的 DSF 方法被设计以具有极高的滤失量,特别是高的初滤失量。设计具有在裂缝中形成不动物质的颗粒的 DSF 流体。在一些实施方式中,颗粒抵抗沿着裂缝的移动,例如通过与裂缝的面相互作用,以便携带液脱离固体,所述固体在开孔和沿着裂缝的长度被阻住。在这样的实施方式中,固体的大小分布基于估计或计算的裂缝宽度,以便产生颗粒阻力和沿着裂缝向下(或通过裂缝)位移的阻力。在其它实施方式中,如上所述,裂缝宽度的确定是不重要的,只要初滤失量保持高。当携带液流过固体到达末端或通过暴露的裂缝面时,由于损失携带液,固体变成不动的并形成桥接,所以即使在不动物质形成后澄清流体可继续过滤经过不动物质一段时间,固体也不能继续扩展到末端。为了更有效,在井筒数英寸内形成不动物质。该物质外,由于连续的滤液损失,压力在末端构造,并且当压力达到保持末端闭合的岩石应力时,裂缝打开并延伸。然而,当其延伸时,从不动物质末端向前其保持极窄。然后裂缝具有两个单独的几何形状,如在图 4b 中所示。前一个数英寸由固体支撑,而其余的非常窄。短的支撑长度的几何形状极大地决定井筒处的应力增长,而不是已经基本上没有宽度的裂缝的剩余长度决定井筒处的应力增长。该结论从不同的裂缝几何形状周围应力的有限元模型得到。下面包括的油田数据表明 DSF 在具有 0.1 毫达西以下渗透率的岩石中适合。滤液压力可能达到末端和使末端延伸,可是该方法也适合。

[0088] 油田数据表明高和低滤失系统都可以是有效的。传统的低滤失量系统通过形成随着其加宽裂缝而产生应力的特定大小颗粒的桥接构建应力。然而,如果该桥接是无效的并且活动的,那么含固体的液体压迫裂缝末端,这导致裂缝宽度和井筒处地层应力的下降。在高滤失量的 DSF 方法中,成功更少地依赖于裂缝宽度和颗粒大小的详细了解。在 DSF 方法中,固体移动由携带液损失而停止,这导致固体变成不动的。允许该损失自由地发生在渗透带(主要地通过裂缝面进入地层),并且如果地层具有低渗透率,那么如果通过用澄清的流体延伸裂缝末端而发生损失,DSF 方法仍然是有益的。DSF 方法有望是更通用的,并且需要较少的具体地层数据以实现有益的结果。

[0089] 如上述论述所建议的,本发明流体、系统和方法可用于在多种油田条件下控制和/或限制循环液漏失,这包括在穿过具有不同性质地层的钻井作业期间。更具体地说,可配置本公开范围内的钻井液以提供需要的初滤失量和携带液滤失量以产生不动物质,无论地层是强渗透的或弱渗透的。如上面在不同位置所建议的,由于颗粒与裂缝面的相互作用以及彼此之间的相互作用,随着携带液损失到地层——通过裂缝面或通过不动物质到裂缝的末端,不动物质将在裂缝中形成。在一些实施方式中,携带液滤失的这两种模式可分别被称为裂缝面漏失和末端漏失。在一些实施方式中,了解或估计滤失的相对的模式可帮助设计钻井液。例如,如果已知或预测地层裂缝面是非常可渗透的,那么不必优化颗粒分布以增强通过不动物质到末端的漏失。作为一个介绍性实例,用于制备钻井液的颗粒的设计和选择可能是昂贵的,或者另外使制备和/或选择适当的钻井液复杂。在裂缝面漏失是携带液滤失的主要模式(和相应的颗粒脱水和固定)的情况下,选择颗粒以增强通过不动物质到末端的滤失量可能是较不重要的。更精确地说,更宽范围的钻井液可能适用于提供本公开的不动物质。

[0090] 本公开的一些实施方式可包括设计限制到裂缝的循环液漏失的钻井液,例如可能在钻井作业期间发生的。更具体地说,提供设计适合用于本文描述方法的钻井液的方法。在一些实施方式中,设计适当钻井液的方法可包括利用具体用于给定井、给定地层、给定油田等的模型和数据的模拟步骤。在其它实施方式中,设计钻井液的方法可仅仅参考通过提供一定范围可能方案的在先迭代模拟产生的表、图或相关性。此外,在一些实施方式中,设计适当钻井液的方法可包括基于多种因素模拟或以其它方式预测裂缝中压降和/或流体流动。在其它实施方式中,设计钻井液的方法可包括确定用于钻井液中的颗粒和固体的目标充填效率。

[0091] 本 DSF 流体的 LCM 颗粒及其它固体可以以多种方式与地层相互作用并且彼此相互作用。此外,颗粒的行为可依赖于多种因素,它们中仅一些可处于操作员的控制中。例如,井筒正在钻井的地层的渗透率将影响 DSF 流体形成不动物质的能力。在地层渗透率沿着井筒长度或沿着裂缝长度变化的情况中,或者在地层的固有渗透率通过钻井作业改变的情况中,地层的渗透率可被称为该裂缝面处的地层的有效渗透率。相似地,地层压裂的方式,例如裂缝的最初宽度和/或裂缝的弯曲可影响固体聚集、积聚或其它方式减缓以引起不动物质形成的能力。另外或可选地,井筒本身的性质对固体形成不动物质能力可具有影响,例如在该裂缝深度的井筒压力。

[0092] 钻井液中 LCM 颗粒和其它固体的行为,以及因此它们形成上述不动物质的能力也可依赖于与携带液相关的性质。例如,携带液的粘度可影响携带液过滤经过形成的不动物

质的能力而没有对颗粒本身施加过多的力。仍另外地, 钻井液作为如上所述 DSF 流体发挥作用的能力也可部分地依赖于与 LCM 颗粒和其它固体相关的性质。例如, 直径或有效直径(例如当颗粒不是球状)可影响颗粒在裂缝面阻滞的能力, 如上所述。另外或可选地, 颗粒大小的分布可影响携带液泄漏或过滤经过形成的不动物质的能力。在一些实施方式中, 颗粒大小的分布可影响固体在裂缝中的充填效率。在其它实施方式中, 颗粒大小的错误分布不可能具有用于引起不动物质形成的适当的固体。另外或可选地, 颗粒大小分布和 / 或有效粒子直径可以其它方式影响固体间相互作用, 例如通过改变固体之间的摩擦相互作用。

[0093] 由于可影响本 DSF 流体性能的因素众多、复杂以及相互关联, 这些相互作用和相互关联很难通过经验法则或反复试验弄清楚, 特别是鉴于与钻井和经历本发明流体和方法意图避免的循环液漏失相关的成本。然而根据本公开, 这些关联和相互作用可以被模拟以帮助获得 DSF 流体的设计决定。

[0094] 在一些实施方式中, 可以基于一个或多个上述因素构建模型以预测裂缝(即, 跨越不动物质)中的压降。例如, 对于给定时刻、给定粒径、充填效率、井筒压力、携带液粘度和地层渗透率, 可构建模型以预测沿着裂缝长度的不同位置处的裂缝中的压力。图 13 图解具有低充填效率的制备钻井液在裂缝形成之后在给定时刻的一个示例性绘图 160。图 14 图解沿着裂缝长度的裂缝中的压力的另一示例性图 165, 这是关于所有其它要素保持不变的高充填效率钻井液。在图 13 和 14 中, 曲线 162 代表在给定时刻裂缝中的压力, 曲线 164 代表在给定时刻裂缝中流体的体积分数。通过在图 13 和图 14 之间比较, 可以看出图 13 的低充填限制提供跨越不动物质的更大压力梯度, 并允许通过不动物质的更大的流体流动。经过不动物质的更大的流体流动允许固体沉淀成块的速率更快。相反, 该模型图解导致高充填效率的 DSF 流体对通过不动物质的流体流动产生高摩擦阻力, 导致颗粒缓慢增长形成不动物质, 以及导致在不动物质上相应地高的应力差。

[0095] 在钻井作业期间应用这样模型以确定或预测裂缝中的压差模式可允许设计者建模多种固体、流体和固体 / 流体组合的应用以确定设计的钻井液组成。该设计的钻井液组成可尽可能详细地提供固体的精确大小、形状、大小分布。可选地或另外地, 设计的钻井液可包括这样的指示, 例如可渗透的 LCM 颗粒是否应该使用和 / 或可使用的 LCM 颗粒和增重剂的比例。

[0096] 尽管提供高充填效率的钻井液和提供低充填效率的钻井液在裂缝中导致不同的压力分布, 但是每一个都可具有适当的应用。例如, 导致低充填效率的流体在具有低渗透率的地层中是优选的, 在那里漏失到地层的携带液被限制, 并且大多数必需的漏失必须通过不动物质到达末端。这样的低充填效率也可在其中要求高流体速度通过不动物质的情况中是优选的, 例如当需要更大体积的固体累积时。另外或可选地, 在难以实现携带液漏失的情况中, 可能必需设计高充填效率。例如, 无水的钻井液倾向于具有固有的低滤失量。因此, 在 NAF 中, 希望几乎不需要漏失而实现固定。当充填效率增加时, 需要较少漏失, 并且不动物质更迅速并更靠近井筒形成。这使应力朝着裂缝的井筒末端移动, 并且引起应力由靠近孔的材料的较短桥接来支撑。尽管在无水流体中由于其低滤失特征, 这可能是必需的, 但是短桥接可能更难形成和 / 或保持不动物质在裂缝中。不动物质的强度、其形成的容易性和在不同井筒操作中保持其强度和结构的能力将依赖于多个因素, 例如地层的渗透率、颗粒大小、固体充填效率和本文论述的其它因素。因此, 流体设计可基于对给定一组条件的最有

效方法的确定,所述条件包括控制循环液漏失的直接目标和与烃生产相关的井设计共有的其它目标。

[0097] 如上所述,本发明范围内的钻井液中的一些 LCM 颗粒或其它固体可以是可渗透的,例如包括硅藻土或天然或人造的可渗透的其它材料。图 13 和 14 代表的模型可以以任何适当方式改变,以考虑钻井液中一些或所有固体的渗透率。例如,固体渗透因素可被并入该模型。另外或可选地,固体的渗透率可以考虑为固体充填效率计算或模拟的因素。在一些实施方式中,在 DSF 流体中可渗透固体的应用可产生具有高充填效率流体的一些益处和低充填效率流体的一些益处的流体。

[0098] 设计用于本公开系统和方法的钻井液的一些方法可包括在计划的钻井作业期间——其中形成裂缝(或模拟形成),选择钻井液和模拟结合的流体和固体流动。如本文讨论的钻井液包括携带液和固体,其中固体具有有效粒径。在一些实施方式中,模拟可被改变以预测裂缝内的压降。该模拟可考虑多个因素例如固体的充填效率、固体有效粒径、固体的渗透率、被钻井筒的地层的有效基岩渗透率、携带液的一个或多个流体特性、钻井作业期间预期的井筒压力和固体间相互作用性质。该模型也可考虑其它的因素,直到并包括裂缝中各种液体和固体之间相互作用的完全物理耦合(full-physics coupling)。

[0099] 模拟可预测裂缝中的压降,其为裂缝形成后时间的函数和/或为与裂缝末端距离的函数。模型可被进一步构建以预测或确定裂缝中流体的体积分数,其为时间函数和/或与末端距离的函数。在一些实施方式中,模型可被进一步构建以表征导致压降的滤失量,其为通过裂缝面漏失或通过末端漏失损失的流体的一部分。

[0100] 重复选择钻井液组成和模拟钻井液流动的步骤,同时随着每一次重复改变钻井液的一个或多个方面。钻井液组成被迭代模拟,直到目标裂缝压降通过模拟被预测,在此时确定设计的钻井液组成。在一些实施方式中,钻井液组成的重复选择可通过在先模拟步骤的结果告知。例如,在先模拟可建议高或低充填效率将更可能导致目标压降。另外或可选地,在先模拟可建议固体的不同颗粒大小分布和/或不同渗透率将优选。钻井液组成的其它方面可随着每一次迭代而改变。仍然另外或可选地,针对每一次另外的重复,可以参考在先预测的压降并参考滤失模式的特征,选择钻井液组成。

[0101] 在本方法的一些实施方式中,钻井液可至少部分地基于目标充填效率设计。目标充填效率可至少部分地基于选自下列的一个或多个因素确定:1) 进行钻井作业的地层的有效渗透率;2) 固体的有效粒径;3) 裂缝的设计裂缝宽度;4) 固体的渗透率;5) 携带液的一个或多个流体特性;6) 在钻井作业期间预期的井筒压力;和 7) 固体间相互作用性质。目标充填效率可通过模拟特定的井位或特定的地层而确定。另外或可选地,目标充填效率可通过参考表、图表、图、相关性、响应面或可用于总结或另外产生更容易获得的数据类型——其通常仅通过模拟可获得——的其它工具进行确定。例如,压降曲线的集合可考虑多种的可能的油田条件制成。对于给定井的给定钻井液设计,可参考该集合以帮助确定目标充填效率。

[0102] 在确定目标充填效率后,钻井液设计可通过鉴定携带液携带的固体的一个或多个特征继续,以提供目标充填效率。例如,鉴定的特征可包括:1) 颗粒大小的分布;2) 有效粒径;3) 携带液中固体的体积分数;4) 固体的渗透率;和 5) 固体的表面性质。在一些实施方式中,携带液也可连同固体被考虑以设计具有目标充填效率的钻井液。

[0103] 设计钻井液的方法可连同钻井眼的方法一起应用。如该公开全文建议的,本公开的钻井液可用于在地下岩层中钻井眼,特别是预期裂缝在钻井作业期间形成的情况下。在设计钻井液的本方法的一些实施方式中,井眼钻入的地层可与伴随的地层性质一起鉴定。地层性质的一个或多个方面可由本设计方法考虑,以确定目标充填效率。

[0104] 另外地,本设计方法可继续包括提供包含携带液和颗粒的钻井液的步骤,其中钻井液具有在设计步骤中鉴定的一个或多个特征。因此,可使用设计和提供的钻井液使井眼钻入地层中。在一些实施方式中,本方法可进一步包括从井眼生产烃。

[0105] 如上述论述所建议的,本文公开的方法和系统的一些实施方式可包括至少部分地基于不动物质形成时预期的滤失模式,设计钻井液。流体的设计可根据主要的滤失模式是通过裂缝面漏失还是通过末端漏失而改变。基于固体、携带液和地层之间相互作用的上述模型可被用来表征选择的建议钻井液的滤失量。该模型可考虑可影响裂缝中相互作用的任何类型的因素,例如上面描述的那些。这样的模拟可被用来准备关于滤失模式之间关联的数据,例如相对于总滤失量的裂缝面漏失和对给定建议钻井液的地层的具体渗透率。可应用相同的建议钻井液和改变地层渗透率,重复该方法,以产生图解多种地层渗透率中给定钻井液滤失模式的曲线,例如图 15 中示出的曲线 175 中任一条所图解的。图 15 中的绘图 170 图解通过裂缝面漏失损失的携带液部分作为总损失流体(滤失)的百分比——其沿着垂直轴绘制,对水平轴并向右增加绘制的地层渗透率。在一些实施方式中,该方法可被重复至少两次,以提供不同地层条件下性能的比较。

[0106] 考虑至少两种建议钻井液,选择建议钻井液、模拟结合的流体流和固体流以及改变有效的基岩渗透率的步骤可被重复。如在图 15 中图解的,多个钻井液曲线 175 的绘图 170 允许使用者迅速地确定一定范围渗透率的多种建议钻井液的滤失模式。此外,与经由在通过这些步骤准备的曲线之间并沿这些曲线内插而模拟的相比,甚至更多数量的钻井液可在实践中设计。然后,对于具体应用的钻井液可通过鉴定井眼钻入的地层而设计。在鉴定地层并确定地层渗透率后,滤失特征数据可被考虑以确定最适合于具体钻井作业的钻井液性质。因此钻井携带液和钻屑可被选择用于钻井作业。

[0107] 在一些实施方式中,滤失模式数据可以以视图存在,例如在图 15 中示出的。然而,应该理解,该数据可以以任何适当的方式存在,用于钻井液设计者参考。

[0108] 尽管可以实施设计钻井液的方法,以鉴定具体的携带液和固体性质以及适用于具体操作的组合,但是其它的实施可被构建以提供对流体设计方法的帮助。例如,图 15 的曲线可基于粒径、充填效率、裂缝宽度和地层渗透率而确定或预测,而没有考虑颗粒渗透率、摩擦相互作用、携带液的粘度等。尽管这样的确定或表征可能没有完全地限定待被使用的钻井液,但是其仍然可帮助表征滤失模式。已知滤失模式,例如在图 15 的图中图解的,可允许设计者确定钻井液需要被设计的程度。例如,如果表征确定大部分滤失是通过裂缝面,那么仔细设计形成不动物质的钻井固体将不是那么重要的。例如,包含可渗透固体可能不是必需的。然而,如果表征图解大多数滤失是通过不动物质到末端,那么设计者将了解,携带液和固体应该仔细地设计和选择以确保通过不动物质的充分高的渗透性。例如,设计者可规定某些水平的固体渗透率和 / 或某些颗粒大小分布。如上所述,增加固体渗透率和 / 或使颗粒大小分布变窄将提高不动物质的渗透性。

[0109] 图 15 包括上面的阴影区 172 和下面的阴影区 174,其示意性代表设计阈值。例如,

如果对于选择的钻井液和地层渗透率,钻井液损失(滤失)表征曲线 175 扩展到上面的阴影区 172,那么设计者可知道,建议钻井液将容易地获得不动物质,并因此将不需要仔细的颗粒大小分布和 / 或可渗透固体的帮助。相似地,如果地层渗透率和建议钻井液的已选组合显示滤失表征曲线仍然在下面的阴影区 174 中,那么设计者可知道不动物质将更难形成和 / 或保持。图 170 有助于直观表示例如阴影区以进一步帮助设计者。呈现滤失表征的其它形式可更有助于呈现这些设计阈值的其它形式。该设计阈值可通过模拟确立,并通过油田试验改进。

[0110] 尽管设计阈值在本流体设计方法的一些实施方式中可以是有益的,但是它们并不必在每个实施方式中产生和 / 或参考。例如,以及如上讨论的,除形成本文所述的不动物质相对容易之外,钻井液的设计可考虑多种因素。在一些实施方式中,设计者可优选允许设计者在选择携带液和钻井固体中更擅长判断和判别的表征。例如,具体油田作业可具有有限的携带液和钻井固体的选择,设计者可以从这些有限的选择中选择以提供该表征建议的性质。另外或可选地,本文描述的表征和其它模拟可基于比计算和 / 或模拟原因的所有相关因素或参数少的因素或参数。

实施例 1

[0111] 本文公开的方法在八口井(四口高渗透性井和四口低渗透性井)中试验。图 16 示出一口高渗透性井的主要数据的图,所述井代表了八口试验井的四口。这四口井显示高渗透性的性能。(相同数据在图 1 中示出)。穿透三个严重衰竭的储层,其被称为地带 A、地带 B 和地带 C。渗透率范围为 500-1000 毫达西,并且正压超过 2000psi。循环压力极大地超过三个地层(地带)估计的完整性。全部四口井,观察到一个少量滤失事件,但是该井充满高于完整性和连续钻井的静态泥浆比重 1ppg。井的套管程序的方案(在图 16 的右边示出,并且标记 121 “方案 w/o DSF 方法”)用于正好在这些地带的每一个的上方和下方下套管。然而,使用本文公开的方法,实际的套管程序(图 16 中方案的左侧示出的,并且标记 120 “实际的”)避免两个套管柱。在最严格试验中,本文公开的方法连续地构建应力,而没有明显的滤失量,其中循环压力超过 2.5ppg,这在钻井地带的最初完整性之上。使用钻井和密封处理,没有观察到高转矩、阻力和钻杆被卡。

实施例 2

[0112] 在四口井中大约 700ft 的衰竭的低渗透性砂岩的层段(具有 0.1 毫达西以下的渗透率)被钻。井眼压力超过完整性 1-2ppg。在钻前两个井的每一个的期间,少量滤失事件短暂地发生,但是井眼充满,并且立刻重建循环。进行小的调整,并且在第三或第四口井中没有滤失发生。在每种情况下,DSF 保持井眼压力高于 1ppg,这在衰竭压裂梯度之上。超过 95%的衰竭层段钻井没有滤失。

[0113] 这四口试验井钻过非常低渗透率地层,在那里认为条件最不利于 DSF 方法成功,但是滤失是最小的。为了表明在该低渗透性地带中裂缝产生并且保持增加应力,裂缝识别测井在钻井中的两口上进行。图 17 示出一口井测井的截面。裂缝 180 贯穿低渗透率地层,并且表明在钻井期间地层的完整性被超过。700ft 的总层段中,350 英尺裂缝。因为在地面上没有检测到显著的滤失量,所以在损失变为显著的之前,裂缝增长被停止。

[0114] 尽管本公开已经详细地描述,但是应该理解可以对其进行多种变化、代替和改变,而没有背离所附权利要求所限定的本发明的范围和精神。

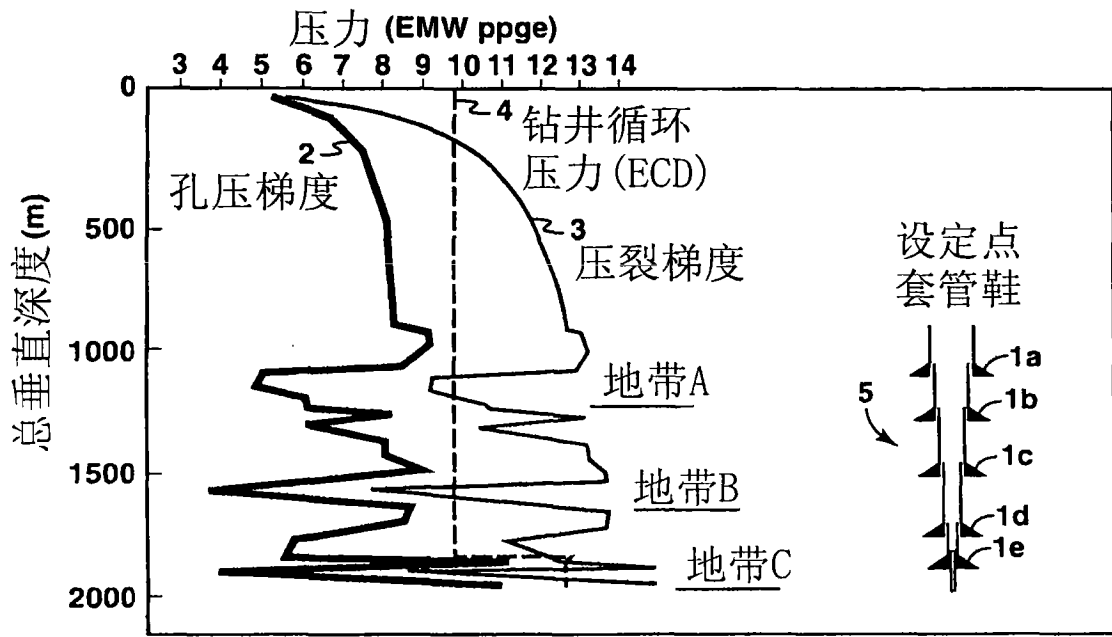


图 1
(现有技术)

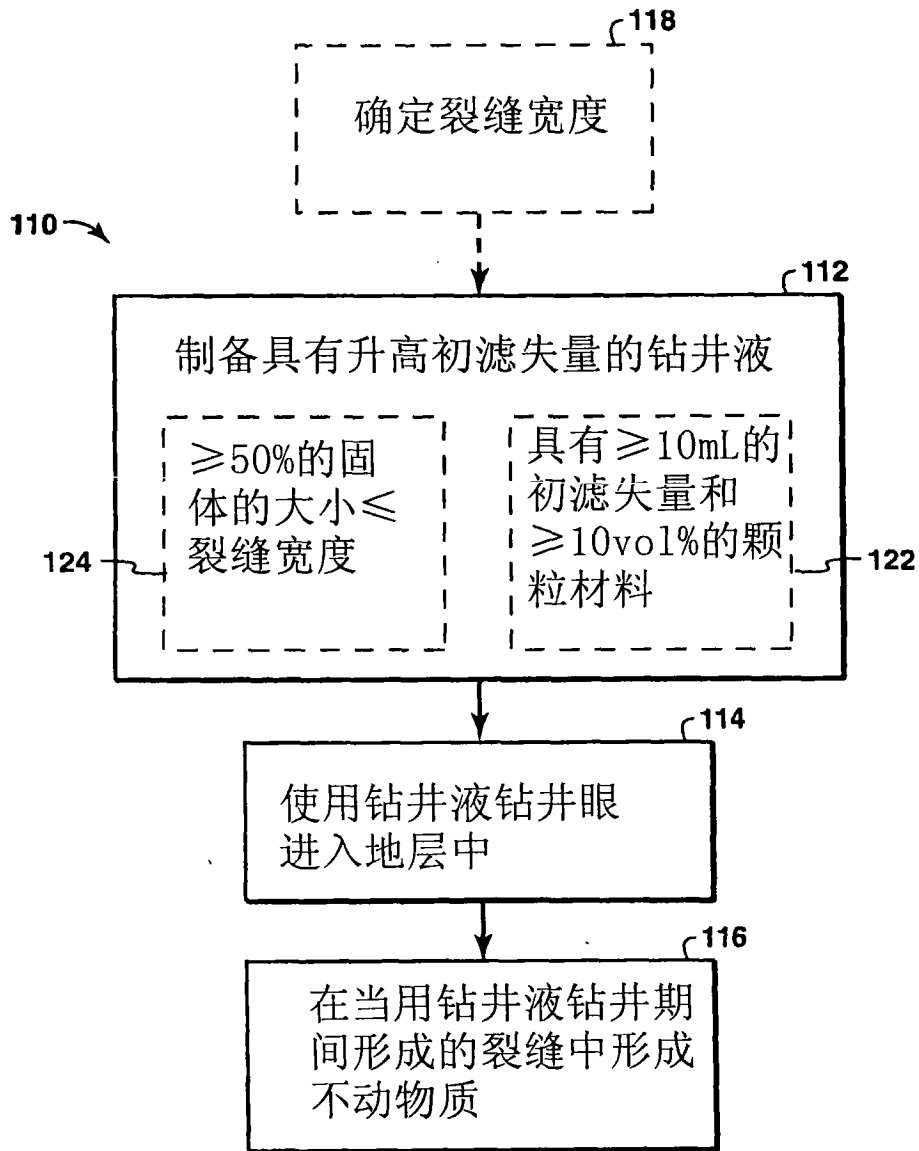


图 2a

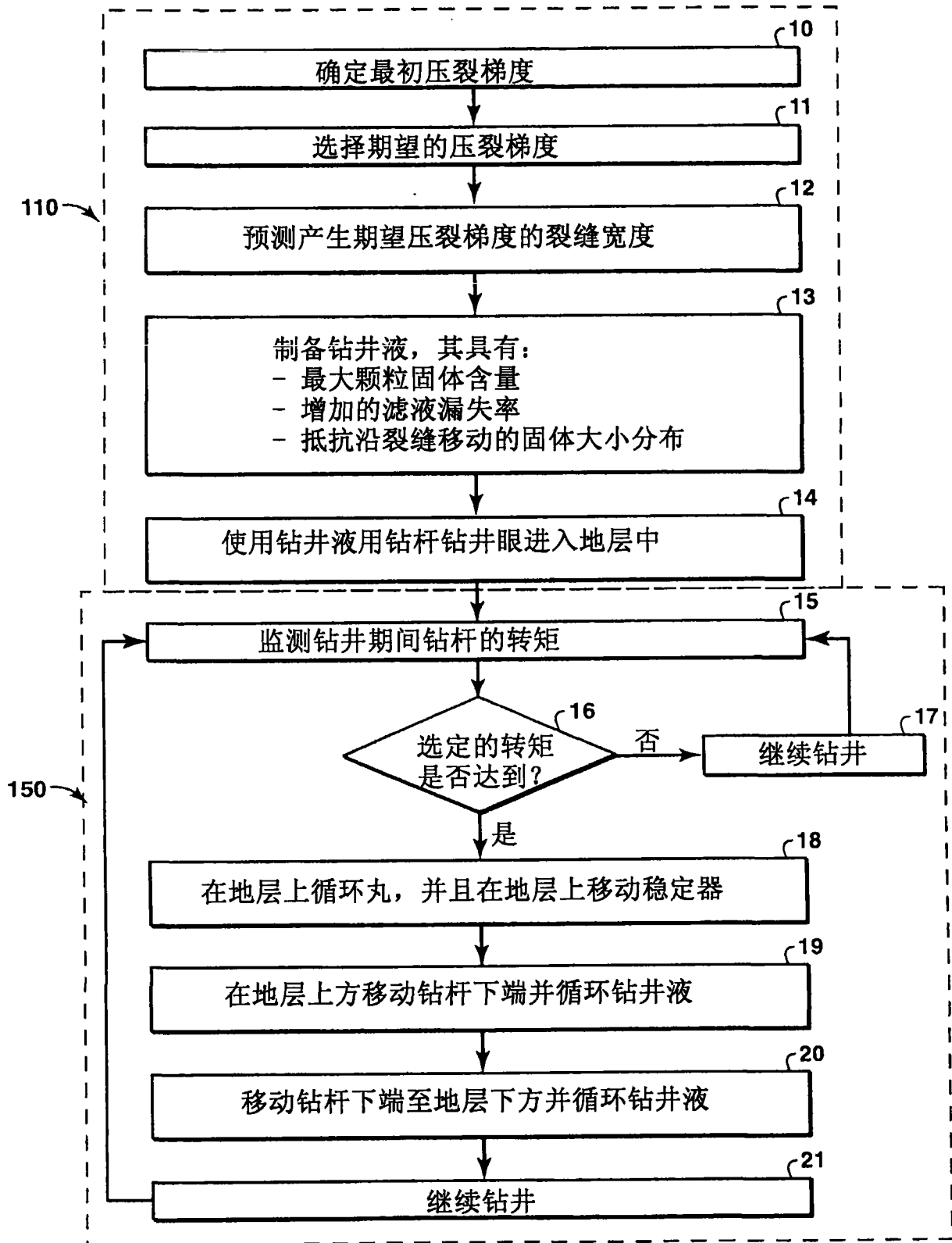


图 2b

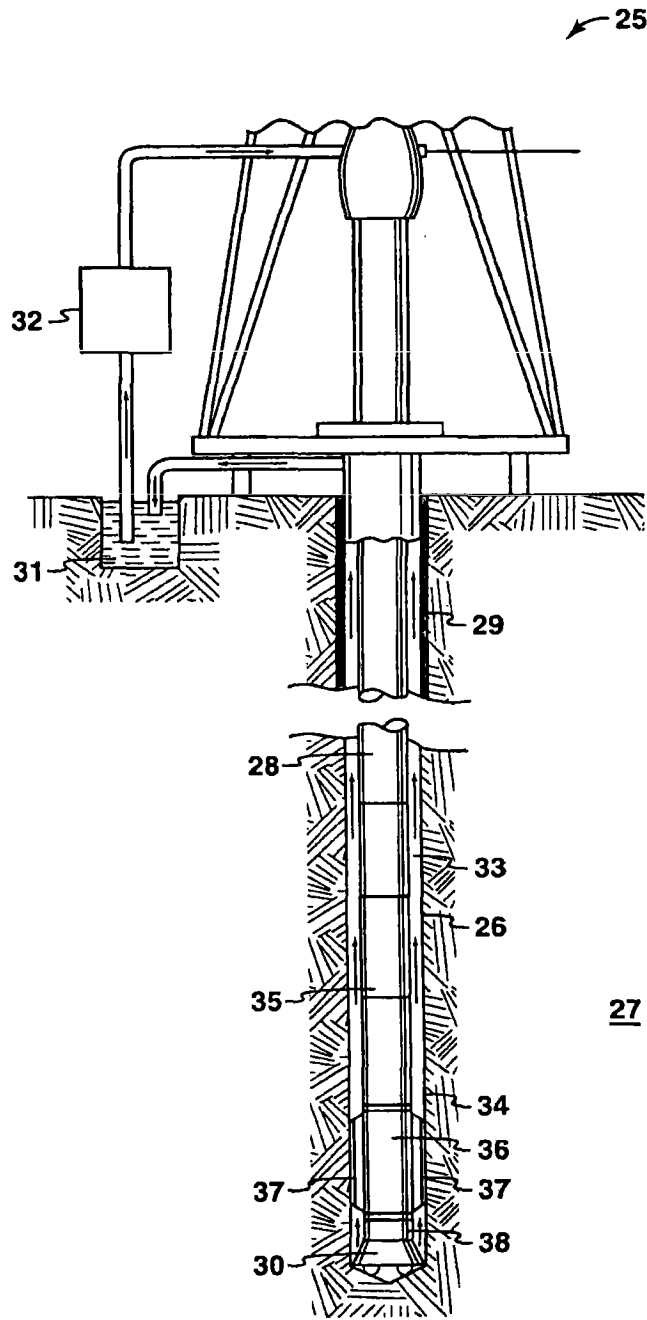


图 3

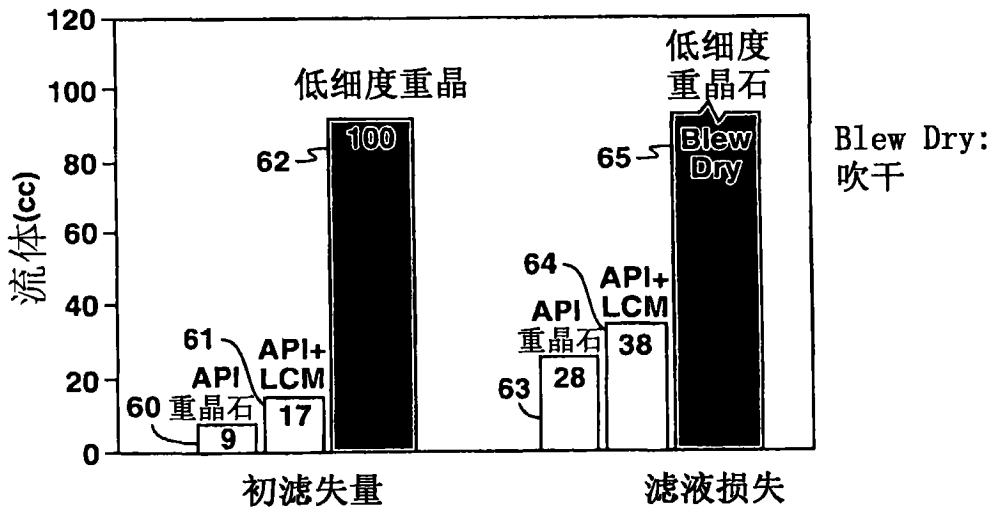


图 6

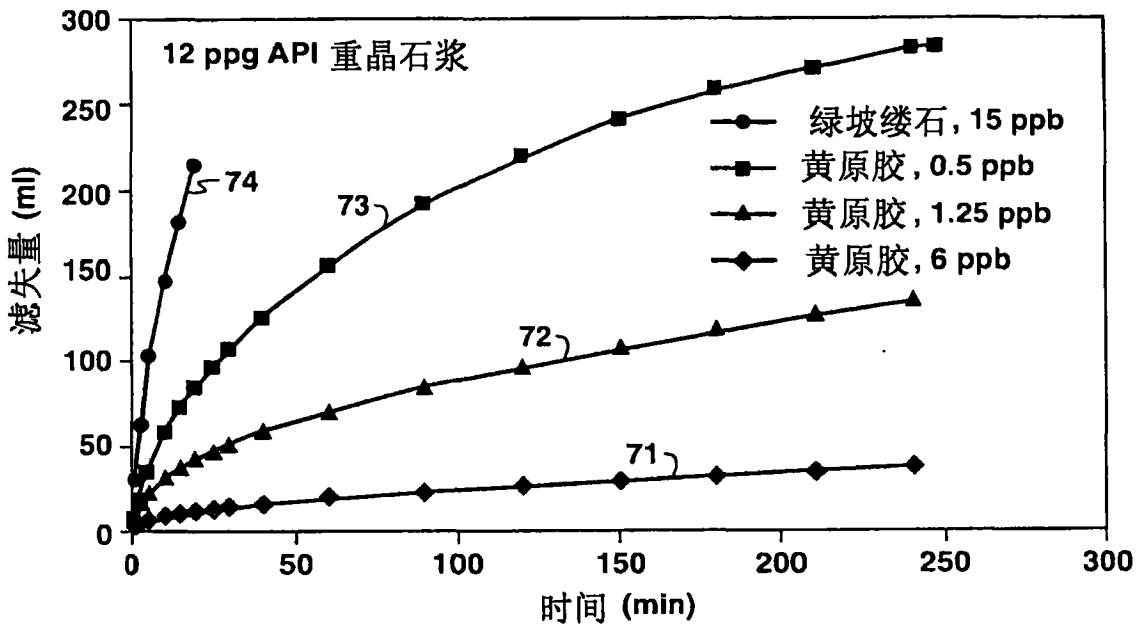


图 7

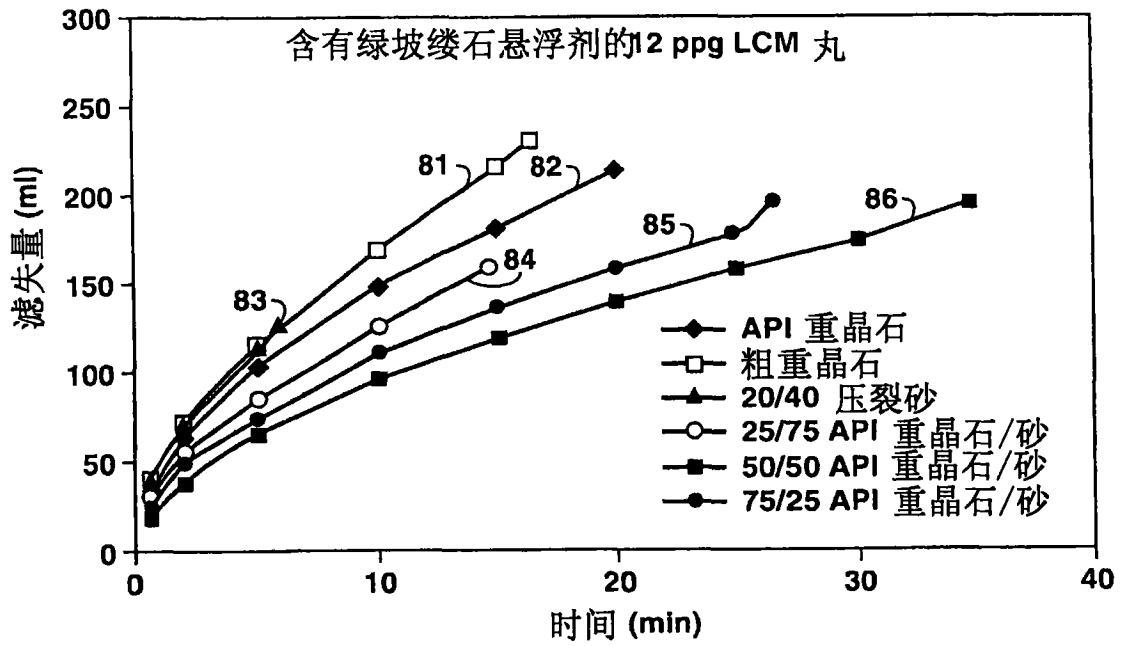


图 8

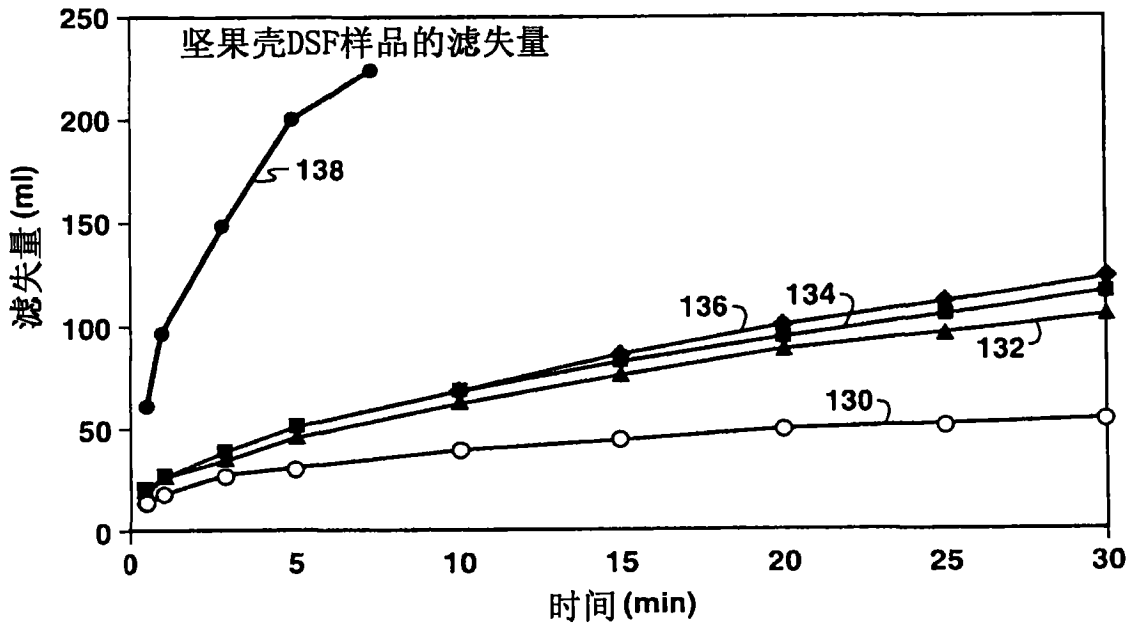


图 9a

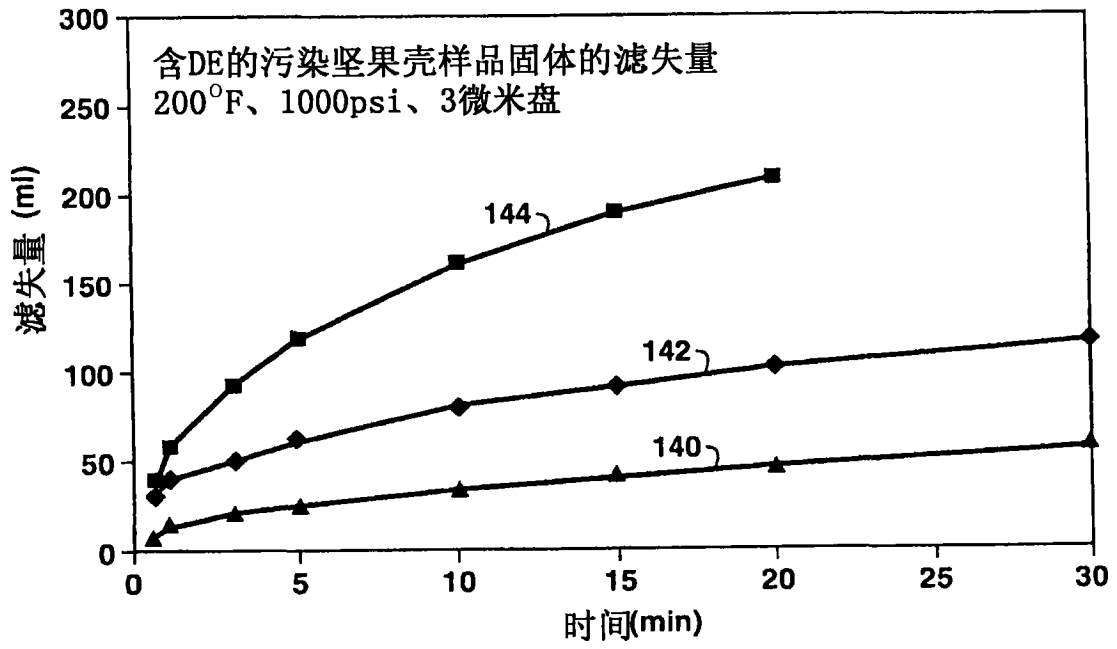


图 9b

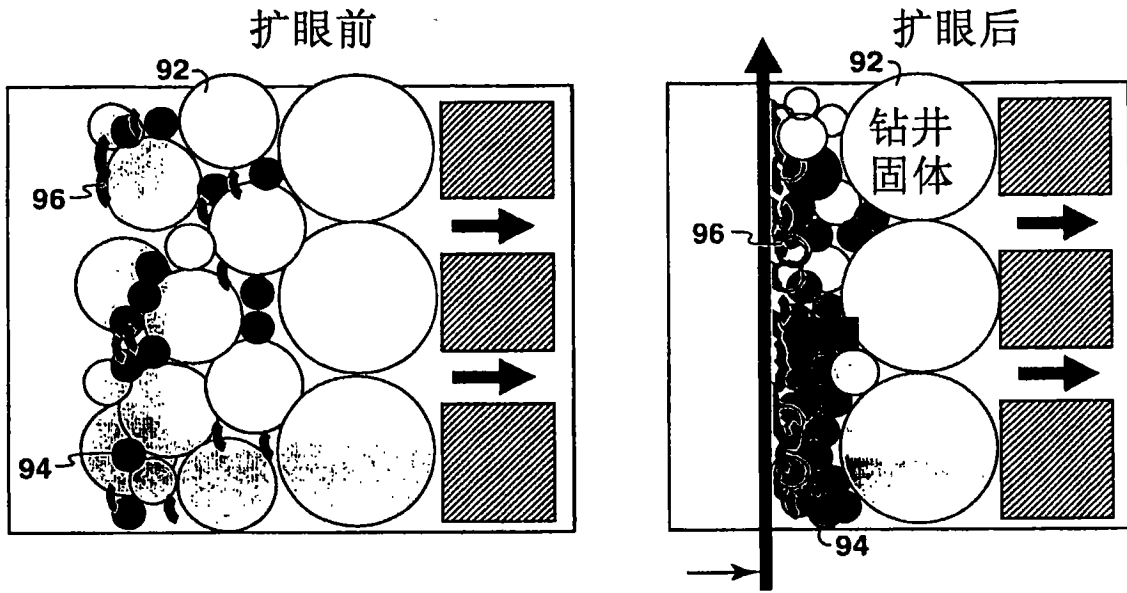


图 10a

图 10b

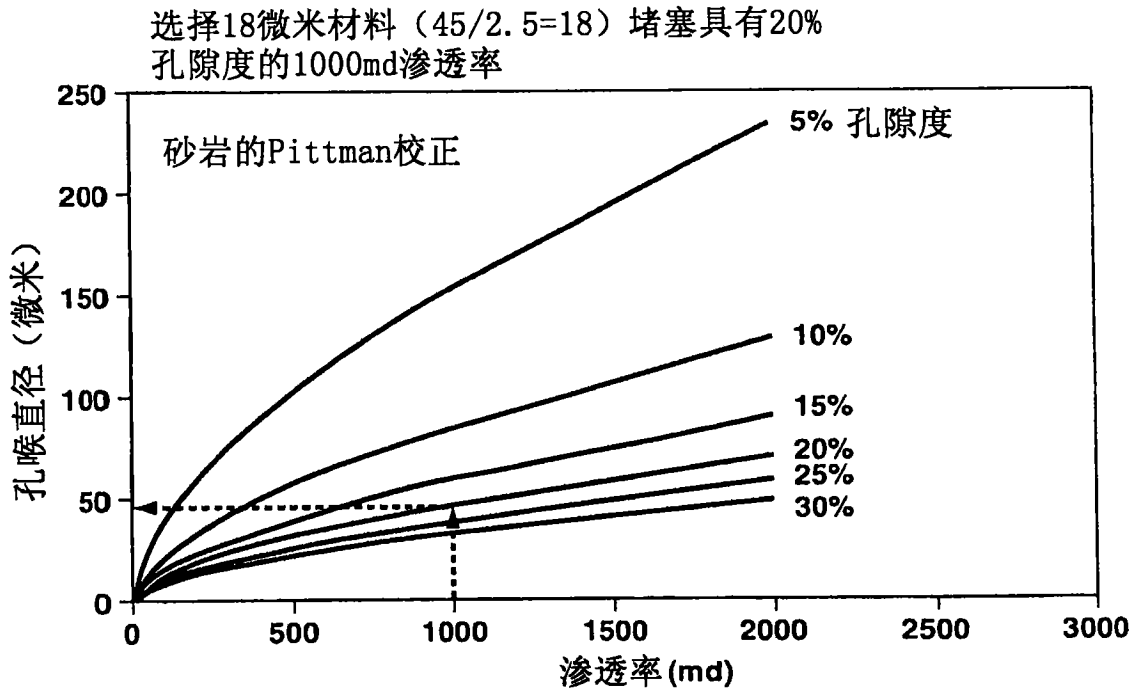


图 11

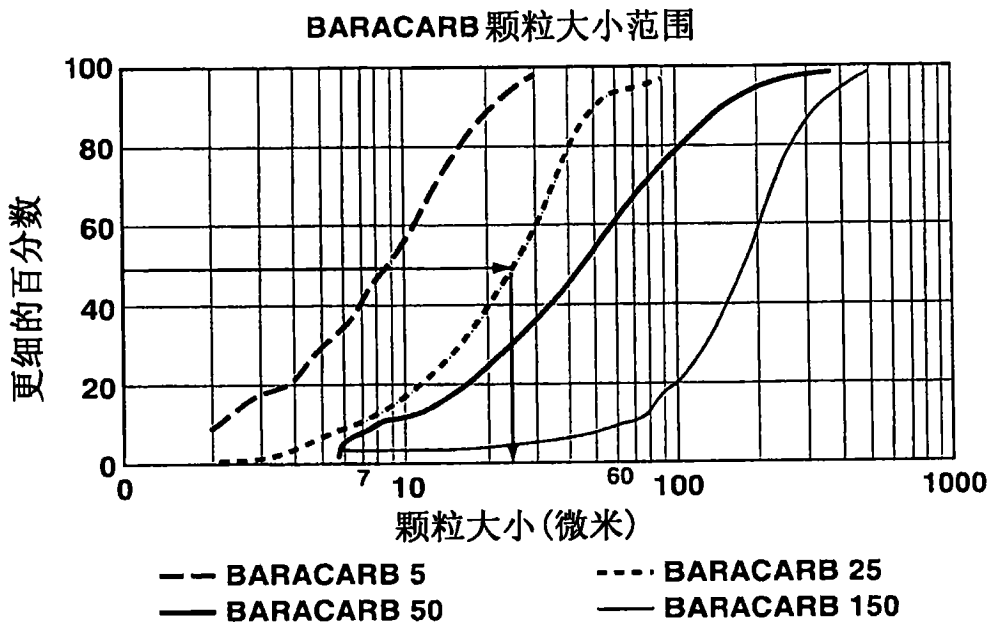


图 12

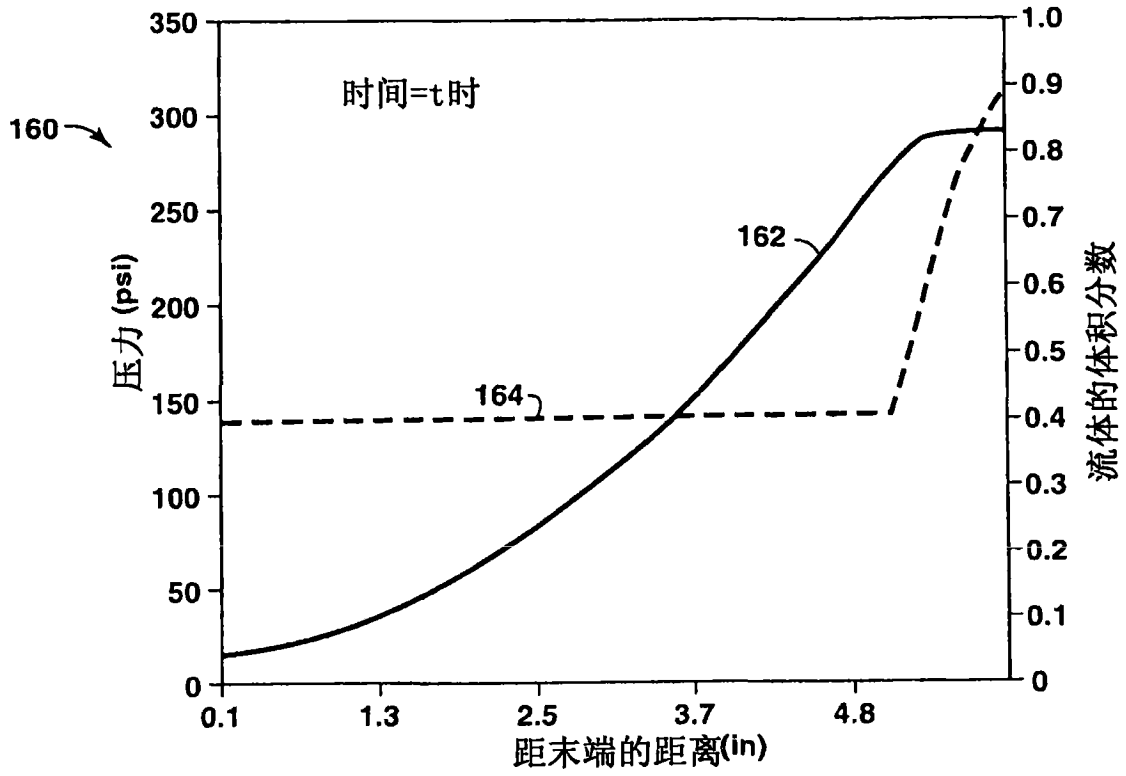


图 13

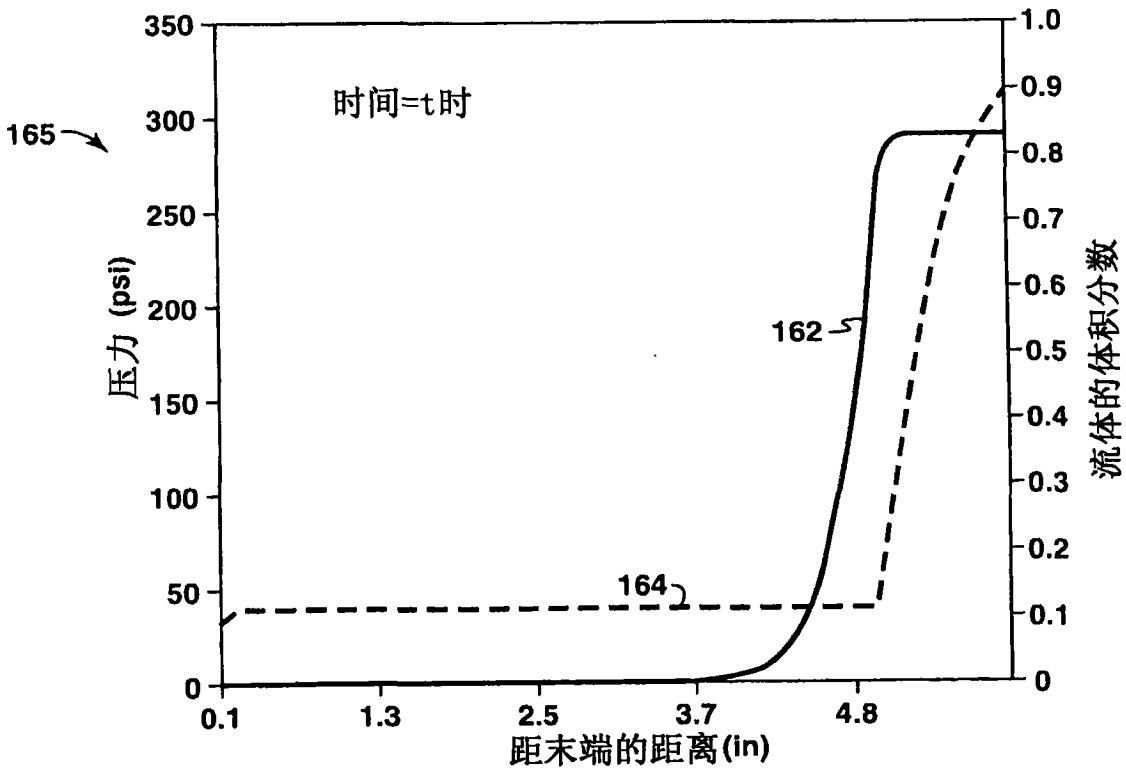


图 14

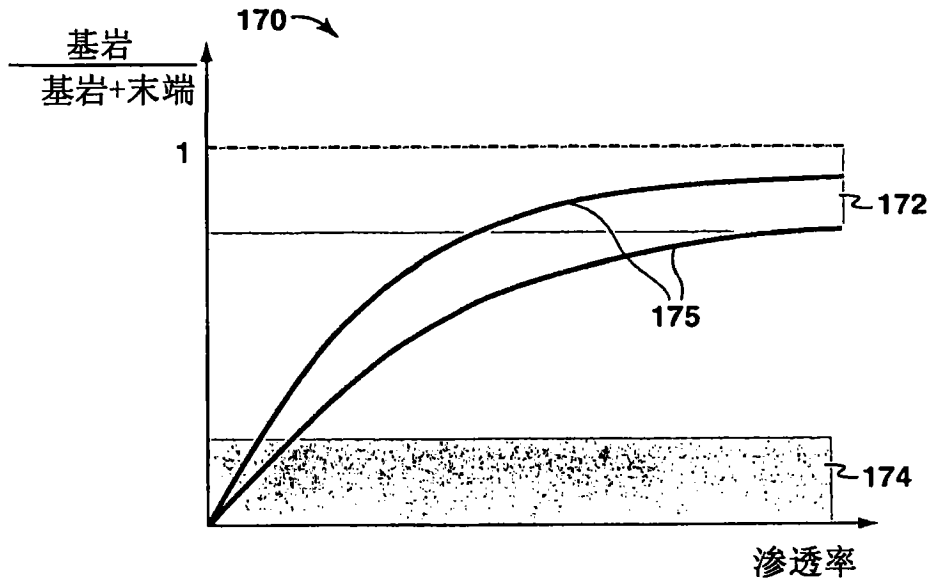


图 15

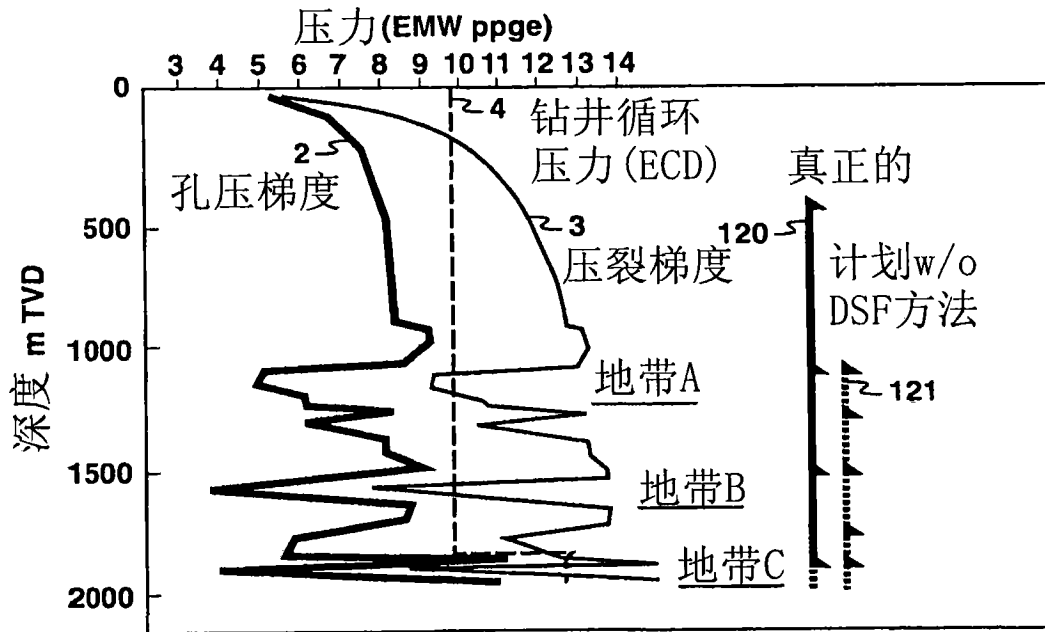


图 16

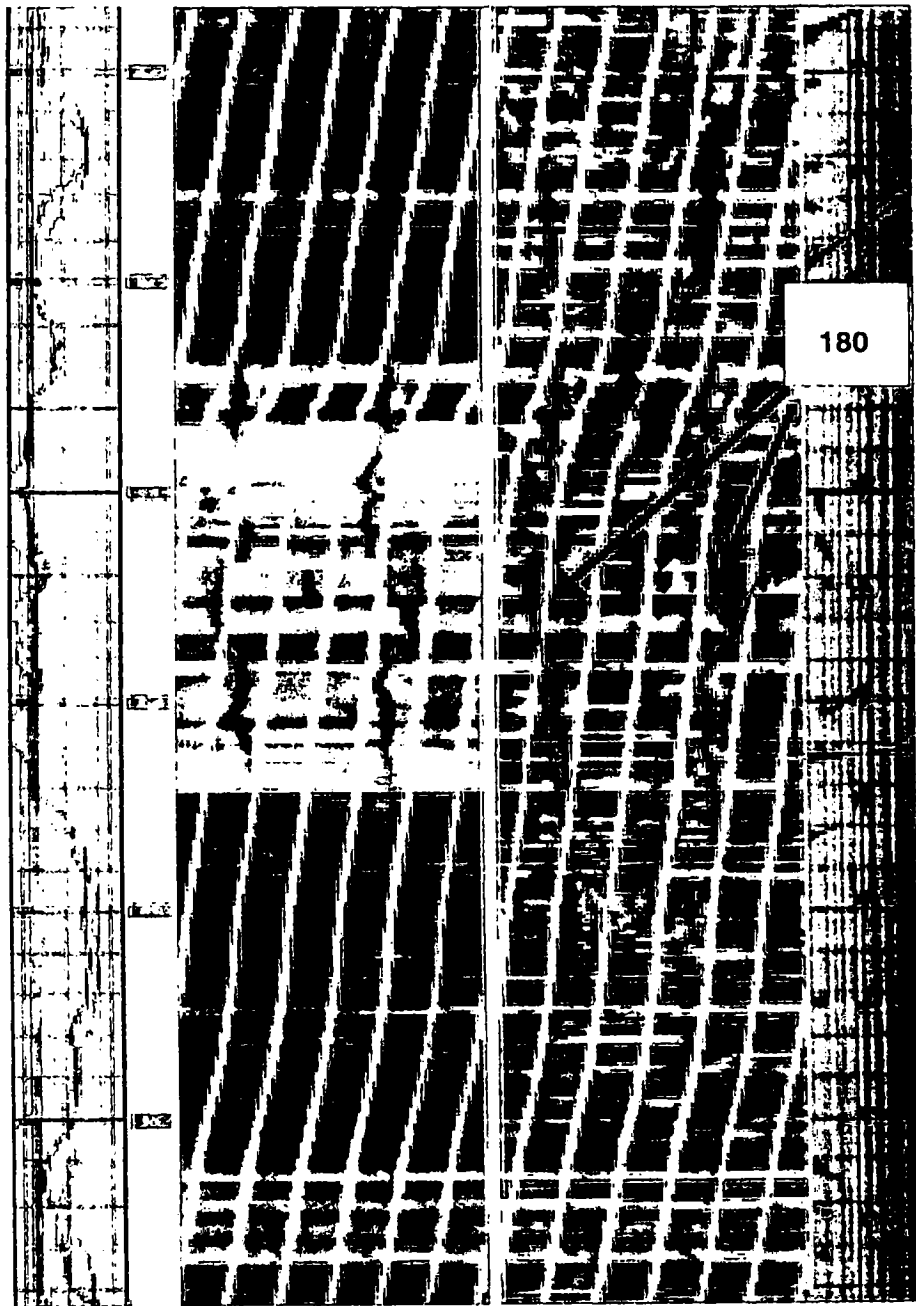


图 17