



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107109917 B

(45)授权公告日 2019.05.10

(21)申请号 201580053701.4

(22)申请日 2015.08.20

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107109917 A

(43)申请公布日 2017.08.29

(30)优先权数据
62/059,517 2014.10.03 US
62/116,084 2015.02.13 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.04.01

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2015/045986 2015.08.20

(87)PCT国际申请的公布数据
W02016/053496 EN 2016.04.07

(73)专利权人 埃克森美孚上游研究公司
地址 美国得克萨斯

(72)发明人 R·C·托尔曼 T·I·莫罗
T·G·贝尼什

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038
代理人 李东晖

(51)Int.Cl.
E21B 43/116(2006.01)
E21B 43/119(2006.01)
E21B 43/267(2006.01)
E21B 34/10(2006.01)
E21B 34/06(2006.01)

审查员 兰起超

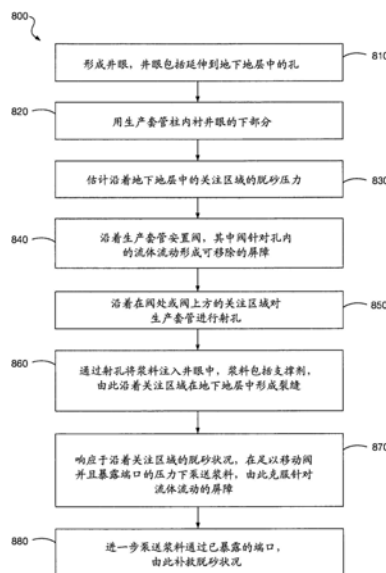
权利要求书3页 说明书19页 附图33页

(54)发明名称

用于在完井期间补救脱砂的方法

(57)摘要

一种完井方法包括补救已沿着关注区域发生的脱砂状况。该方法包括：形成井眼，用生产套管柱内衬井眼的至少下部分，并且沿着生产套管安置阀，其中阀针对孔内的流体流动形成可移除的屏障。在脱砂的情况下通过移动阀来移除该屏障。这克服了针对流体流动的屏障，由此在阀处或阀下方将沿着生产套管的端口暴露给地下地层。进行附加泵送以泵送浆料通过已暴露的端口，由此补救脱砂状况。



1. 一种完井的方法,其包括:
 - 形成井眼,所述井眼包括延伸到地下地层中的孔;
 - 用生产套管柱内衬所述井眼的至少下部分;
 - 沿着生产套管安置阀,所述阀针对所述孔内的流体流动形成可移除的屏障;
 - 沿着地下地层内的第一关注区域对所述生产套管进行射孔,所述第一关注区域位于所述阀处或所述阀上方,其中对所述生产套管进行射孔包括:
 - 将自主射孔枪组件泵送到所述井眼中,所述自主射孔枪包括:
 - 射孔枪;
 - 深度传感器,所述深度传感器用于基于沿着所述井眼的套管接箍的间距感测所述射孔枪在所述井眼内的位置;以及
 - 板载控制器,所述板载控制器配置成当定位器已识别出所述射孔枪沿着所述井眼的选定位置时向所述射孔枪发送致动信号以促使一个或多个雷管击发;以及
 - 沿着所述第一关注区域自主地击发所述射孔枪;
 - 将浆料注入所述井眼中,所述浆料包括压裂支撑剂;
 - 响应于在注入期间沿着所述第一关注区域的脱砂状况,在足以移动所述阀并且克服针对流体流动的所述屏障的压力下泵送所述浆料,由此在所述阀处或所述阀下方将沿着所述生产套管的端口暴露给地下地层;以及
 - 进一步泵送所述浆料通过已暴露的端口以由此补救脱砂状况。
 - 2. 根据权利要求1所述的方法,其中沿着地下地层以水平取向完成所述井眼。
 - 3. 根据权利要求1或2所述的方法,其中所述阀是球座阀或球笼阀。
 - 4. 根据权利要求1或2所述的方法,其中:
 - 所述阀是滑动套筒;并且
 - 移动所述阀以暴露沿着所述生产套管的端口包括移动所述滑动套筒以暴露在所述滑动套筒中构建的一个或多个端口。
 - 5. 根据权利要求1或2所述的方法,其中:
 - 所述阀是破裂盘;
 - 所述端口在所述第一关注区域下方位于滑动套筒附近;并且
 - 所述方法还包括:
 - 将水性流体沿所述井眼向下泵送以移动所述滑动套筒,由此暴露沿着所述生产套管的端口;
 - 在注入所述浆料之前,进一步通过已暴露的端口在压力下注入所述水性流体,由此在所述滑动套筒附近的所述第一关注区域下方的地下地层中形成裂缝以用于接收所述浆料;
 - 沿着所述生产套管安置挡板座,所述挡板座位于所述滑动套筒上方、但位于所述第一关注区域处或所述第一关注区域下方;
 - 将所述破裂盘在所述浆料前面沿所述井眼向下泵送到靠近所述阀的深度;以及
 - 将所述破裂盘着陆在所述挡板座上,由此形成针对流体流动的所述屏障;并且
 - 移动所述阀还包括爆裂所述破裂盘,其中所述破裂盘设计成在大于脱砂压力的压力下破裂。
 - 6. 根据权利要求1或2所述的方法,其中:

所述阀是具有第一爆裂额定值的第一爆裂塞；

所述端口是在所述第一关注区域下方的第二关注区域中安置在所述生产套管中的射孔；并且

移动所述阀以暴露端口包括在超过所述第一爆裂塞的第一爆裂额定值的压力下注入所述浆料。

7. 根据权利要求6所述的方法，其还包括：

在所述第二关注区域处或所述第二关注区域下方沿着所述生产套管安置第二爆裂塞，所述第二爆裂塞具有第二爆裂额定值。

8. 根据权利要求7所述的方法，其中所述第二爆裂额定值等于或大于所述第一爆裂额定值。

9. 根据权利要求1或2所述的方法，其中：

所述阀是球座阀；

所述端口是在所述第一关注区域下方的第二关注区域中安置在所述生产套管中的射孔；并且

移动所述阀以暴露端口包括在促使阀球失去其在阀座上的压力密封的压力下注入所述浆料。

10. 根据权利要求9所述的方法，其中促使所述阀球失去其压力密封包括促使所述阀球破碎、促使所述阀球溶解、或者促使所述阀球塌陷。

11. 根据权利要求1或2所述的方法，其还包括：

在沿着所述生产套管安置所述阀之前，估计沿着所述第一关注区域的脱砂压力。

12. 根据权利要求1或2所述的方法，其还包括：

在已补救脱砂状况之后铣削掉所述阀。

13. 根据权利要求1或2所述的方法，其还包括：

响应于阀的故障，调整阀的尺寸并且用新调整尺寸的阀运行。

14. 一种完井的方法，其包括：

形成井眼，所述井眼包括经过关注区域延伸到地下地层中的孔；

用生产套管柱内衬所述井眼的至少下部分；

沿着生产套管安置阀，所述阀针对所述孔内的流体流动形成可移除的屏障；

将浆料注入所述井眼中，所述浆料包括压裂支撑剂；

响应于在注入期间沿着所述关注区域的脱砂状况，在足以移动所述阀并且克服针对流体流动的所述屏障的压力下泵送所述浆料，由此在所述阀处或所述阀下方将沿着所述生产套管的端口暴露给地下地层；以及

进一步泵送所述浆料通过已暴露的端口以由此补救脱砂状况；

在补救期间，将自主射孔枪组件泵送到所述井眼中，所述自主射孔枪包括：

射孔枪；

位置传感器，所述位置传感器用于感测泵送期间所述射孔枪在所述井眼内的位置；以

及

板载控制器，所述板载控制器配置成向所述射孔枪发送致动信号以促使一个或多个雷管击发；以及

当所述位置传感器已识别出所述射孔枪沿着所述井眼的选定位置时在所述阀上方沿着所述生产套管自主地击发所述射孔枪,由此形成新的射孔组。

15. 根据权利要求14所述的方法,其中:

所述位置传感器是套管接箍定位器;并且

当所述套管接箍定位器已基于算法识别出所述射孔枪的选定位置时,所述板载控制器向所述射孔枪发送致动信号,所述算法将指示套管接箍的读数与来自所述井的预存储套管接箍测井记录进行比较。

16. 根据权利要求14所述的方法,其中:

所述位置传感器是地层测井工具;并且

当所述位置传感器已基于算法识别出所述射孔枪的选定位置时,所述板载控制器向所述射孔枪发送致动信号,所述算法将指示地层的读数与来自所述井的预存储地层测井记录进行比较。

17. 根据权利要求14所述的方法,其中:

所述位置传感器感测沿着所述套管安置的标记物;并且

当所述位置传感器已识别出沿着所述套管的一个或多个选定标记物时,所述板载控制器向所述射孔枪发送致动信号。

18. 根据权利要求14-17中任一项所述的方法,其中:

沿着地下地层以水平取向完成所述井眼;并且

所述新的射孔组沿着所述关注区域定位。

19. 根据权利要求14-17中任一项所述的方法,其中:

所述阀是破裂盘;

所述端口在所述关注区域下方位于滑动套筒附近;并且

所述方法还包括:

将水性流体沿所述井眼向下泵送以移动所述滑动套筒,由此暴露沿着所述生产套管的端口;

在注入所述浆料之前,进一步通过已暴露的端口在压力下注入所述水性流体,由此在所述滑动套筒附近的所述关注区域下方的地下地层中形成裂缝以用于接收所述浆料;

沿着所述生产套管安置挡板座,所述挡板座位于所述滑动套筒上方、但位于所述关注区域处或所述关注区域下方;

将所述破裂盘在所述浆料前面沿所述井眼向下泵送到靠近所述阀的深度,所述破裂盘设计成在大于脱砂压力的压力下破裂;以及

将所述破裂盘着陆在所述挡板座上。

20. 根据权利要求14-17中任一项所述的方法,其中:

所述阀是具有第一爆裂额定值的第一爆裂塞;

所述端口是在所述关注区域下方安置在所述生产套管中的射孔;并且

移动所述阀以暴露端口包括在超过所述第一爆裂塞的第一爆裂额定值的压力下注入所述浆料,由此允许所述浆料绕过所述第一爆裂塞并且通过所述射孔侵入地下地层;并且

所述方法还包括在所述射孔下方沿着所述生产套管安置第二爆裂塞,所述第二爆裂塞的第二爆裂额定值等于或大于所述第一爆裂额定值。

用于在完井期间补救脱砂的方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2014年10月3日提交的、名称为“用于在完井期间补救脱砂的方法(Method For Remediating A Screen-Out During Well Completion)”的美国临时专利申请第62/059,517号以及于2015年2月13日提交的、名称为“用于在完井期间补救脱砂的方法(Method For Remediating A Screen-Out During Well Completion)”的美国临时专利申请第62/116,084号的优先权权益,上述申请的全部内容通过引用并入本文。本申请涉及于2013年5月24日提交的、名称为“自主井下输送系统(Autonomous Downhole Conveyance System)”、作为美国专利公报第2013/0248174号公开的共同待决的美国专利申请第13/989,728号。本申请还涉及于2012年11月13日提交的、名称为“使用自主管状单元多区域压裂增产储集层的组件与方法(Assembly and Method for Multi-Zone Fracture Stimulation of a Reservoir Using Autonomous Tubular Units)”、作为美国专利公报第2013/0062055号公开的共同待决的美国专利申请第13/697,769号。这两个申请的全部内容都通过引用并入本文。

技术领域

[0003] 本部分旨在介绍可能与本公开的示例性实施例相关联的技术领域的各个方面。确信这种讨论有助于提供框架以便于更好地理解本公开的特定方面。因此,应当理解,应该据此来阅读该部分,而不应理解为承认构成现有技术。

[0004] 本发明主要涉及井眼操作的领域。更具体地,本发明涉及完井过程,其中分阶段地压裂地下地层的多个区域。

背景技术

[0005] 在油气井的钻井中,使用在钻柱的下端被向下推动的钻头来形成井眼。在钻到预定的井底位置之后,钻柱和钻头被移除,并且用套管柱来内衬井眼。由此在套管柱和周围的地层之间形成环形区域。

[0006] 典型地进行固井操作以使用水泥柱填充或“挤压”该环形区域。水泥和套管的组合增强井眼并且便于套管后面的地层的层间封隔。

[0007] 通常将具有逐渐变小的外径的多个套管柱安置在井眼中。第一柱可以被称为地表套管。地表套管用于隔离和保护较浅的含淡水的含水层免受任何其它井眼流体的污染。因此,该套管柱几乎总是完全回固到地表。

[0008] 将钻进并且随后固接逐渐变小的套管柱的过程在地表套管下方重复几次,直至井已达到总深度。在某些情况下,最终套管柱是衬管,也就是不回接到地表的套管柱。被称为生产套管的最终套管柱典型地也是固接就位。在一些完成情况下,生产套管(或衬管)具有在选定的生产层段上间隔开的膨胀封隔器或外部套管封隔器。这在封隔器之间形成隔室以用于各区域的隔离和特定的增产处理。在该情况下,环隙可以简单地用砂填充。

[0009] 作为完井过程的一部分,生产套管在期望的层级(level)处进行射孔。这意味着通

过套管和围绕套管的水泥柱射出侧孔。射孔允许储层流体流入井眼。在膨胀封隔器或单独隔室的情况下,射孔枪穿透套管,允许储层流体沿着相应的区域从岩层流入井眼中。

[0010] 在射孔之后,地层典型地在相应的区域被压裂。水力压裂包括以使得储层岩石部分形成裂缝网络的高压和速率将具有减摩剂的水或粘性流体(通常是剪切稀化、非牛顿凝胶或乳剂)注入地层中。压裂流体典型地与支撑剂材料(例如砂、花岗岩碎块、陶瓷珠、或其它颗粒材料)混合。支撑剂用于在液压释放之后保持一个或多个裂缝。在所谓的“紧”或非常规地层的情况下,裂缝和注入的支撑剂的组合显著增加了经处理的储层的流动能力。

[0011] 为了进一步使地层增产并且在井下清洁近井眼区域,操作者可以选择“酸化”地层。这通过将酸溶液沿井眼向下注入并穿过射孔来完成。当地层包括碳酸盐岩时使用酸化溶液是特别有利的。在操作中,完井公司将浓缩的甲酸或其它的酸性组合物注入井眼中并将流体引导到选定的关注区域中。酸有助于溶解碳酸盐材料,由此打开多孔通道,烃流体可以通过所述通道流入井眼中。此外,酸有助于溶解可能侵入地层的钻井泥浆。

[0012] 如上所述的水力压裂和酸增产的应用是应用于单独的产油地层(或“油层”)的石油工业操作的常规部分。这样的油层可以表示高达约60米(100英尺)的地下地层的总垂直厚度。最近,正在以水平地通过产烃地层的方式完井,其中水平部分可能延伸5000英尺、10000英尺甚至15000英尺。

[0013] 当有多个或多层地层将被水力压裂或者有很厚的含烃地层(超过约40米或131英尺)时,或者在大位移水平井正在完井的情况下,需要更复杂的处理技术来获得对整个目标地层的处理。在这方面,运营公司必须隔离各个区域或部段以确保每个独立的区域不仅被射孔,而且要进行充分压裂和处理。以该方式,操作者确保压裂流体和增产剂通过每一组射孔注入每个关注的区域以有效地增加每个期望深度处的流动能力。

[0014] 用于预生产处理的各个区域的隔离需要分阶段处理各层段。这相应地包括使用所谓的改道方法。在石油工业术语中,“改道(diversion)”表示注入的流体被改道以免进入一组射孔,使得流体主要仅进入一个选定的关注区域。在多个关注区域将进行射孔的情况下,这需要执行多个改道阶段。

[0015] 为了隔离选定的关注区域,可以在井眼内采用各种改道技术。在许多情况下,使用机械装置例如压裂桥塞、井下阀、滑动套筒(称为“压裂套筒”)以及挡板/塞子的组合。

[0016] “射孔和压裂(perf-and-frac)”过程期间有时会遇到的问题所谓的脱砂(screen-out)。当作为压裂流体浆料的一部分而注入的支撑剂紧密地填充井眼附近的裂缝和射孔隧道时会发生脱砂。这会形成堵塞以使得裂缝内部的浆料的继续注入需要超过井眼或井口设备的安全限制的泵送压力。在操作上,这会导致压裂操作的中断,并且在恢复操作之前需要停止泵送和清洗井眼。在水平井压裂中,脱砂会扰乱井操作并且导致成本超支。

[0017] 在操作者在有效的射孔枪处于井中时泵送浆料的情况下,操作者可能能够在泵送期间通过射出新的一组射孔来补救脱砂。这可以在采用多区域增产技术的情况下完成。在该情况下,操作者将信号发送到井底组件,其包括具有关联弹药的各种射孔枪。使用这样的井底组件的多区域增产技术的示例包括“即时射孔”(JITP)技术和“环形盘管压裂(ACT Frac)”技术。在这些过程中,进行各区域的基本上连续的处理。

[0018] 用于JITP和ACT Frac过程的井底组件的益处在于它们允许操作者沿着各个关注区域对套管进行射孔并且随后顺序地隔离相应的关注区域,使得压裂流体可以在同一行程

中注入几个关注区域中。幸运的是,这些多区域增产技术的每一种也提供了在脱砂的情况下根据需要形成支撑剂处置区域以通过射孔新的岩石部段来清理井眼(JITP)或者简单地使用井眼中的盘管将支撑剂循环到井外(ACT Frac)的能力。然而,在更传统的进行单区域增产或者一次要处理多个射孔群组的完井中,脱砂可能需要更换地表处的完井设备且操作上有相当大的延迟。

[0019] 近来,已开发出一种采用所谓的自主工具的新型完井程序。这些自主工具是落入井眼中并且不从地表进行控制的工具;相反地,这些工具包括与工具上的控制器交互以自行确定井眼内的位置的一个或多个传感器(例如,套管接箍定位器)。当自主工具在井下被泵送时,控制器最终识别目标深度并发送致动信号,导致发生动作。在工具是桥塞的情况下,将塞子置于井眼中的期望深度处。类似地,在工具是射孔枪的情况下,一个或多个雷管被击发以将“射出物”发送到套管和周围的地下地层中。不幸的是,当发生脱砂时,自主射孔枪不能被泵送到井眼中;因此,射孔枪落入在脱砂期间需要在地表处更换的完井设备的完井类别。

[0020] 另外,可以观察到即使是JITP和ACT-Frac程序也易受在射孔和压裂阶段的最高区域处的脱砂并发问题的影响。(这在下面结合图1F论证)。

[0021] 因此,对于在脱砂状况期间补救井眼而不中断泵送过程的方法存在需求。此外,对于即使在脱砂状况期间也能将自主射孔工具部署在井眼中的完井技术存在需求。

发明内容

[0022] 本文所述的方法在进行油气钻井和完井作业方面具有各种益处。具体地,提供了用于完井的方法。

[0023] 在一方面,一种完井的方法首先包括形成井眼。所述井眼限定延伸到地下地层中的孔。所述井眼可以形成为基本竖直的井;更优选地,通过钻出倾斜或者甚至水平的井来形成所述井。

[0024] 所述方法还包括用生产套管柱内衬所述井眼。所述生产套管由端对端螺纹连接的一系列钢管接头组成。

[0025] 所述方法还包括沿着所述生产套管安置阀。所述阀可以插入套管柱中或者与套管柱一体地组成。所述阀针对所述孔内的流体流动形成可移除的屏障。优选地,所述阀是具有接收阀球的阀座的滑动套筒,其中所述阀球从地表下落以在所述阀座上形成压力密封。所述套筒通过剪切销保持就位,所述剪切销被设计成当套筒上方的压力超过预定的设定点时进行剪切。这会打开用于区域处理或阶段处理的端口。如果在处理期间超过估计的脱砂压力,则保持阀座的附加剪切销将进行剪切,在井下释放阀。也可以使用其它类型的阀,如下所述。

[0026] 所述方法还包括对所述生产套管进行射孔。沿着地下地层内的第一关注区域对套管进行射孔。所述第一关注区域位于所述阀处或所述阀上方。射孔的过程包括将射出物击发到套管中,通过周围的水泥环,并且进入周围的组成地下地层的岩石基体。这通过在井眼中使用射孔枪来完成。

[0027] 所述方法接下来包括将浆料注入所述井眼中。所述浆料包括压裂支撑剂,所述压裂支撑剂优选在含水介质中载带。

[0028] 所述方法还包括在足以移动所述阀并且克服针对流体流动的所述屏障的压力下泵送所述浆料。响应于在浆料注入期间形成的沿着第一关注区域的脱砂状况来完成该步骤。移动所述阀以在所述阀处或所述阀下方将沿着所述生产套管的端口暴露给地下地层。

[0029] 所述方法附加地包括进一步泵送所述浆料通过已暴露的端口,由此补救所述阀上方的脱砂状况。

[0030] 在所述方法的一方面,所述阀是滑动套筒。在该情况下,移动所述阀以暴露沿着所述生产套管的端口包括移动或“滑动”所述套筒以暴露在所述滑动套筒中构建的一个或多个端口。这可以包括定位销的剪切。

[0031] 在另一实施例中,所述方法还包括沿着所述生产套管安置压裂挡板。所述压裂挡板位于所述滑动套筒上方,但是位于所述第一关注区域处或所述第一关注区域下方。所述压裂挡板可以是在初始磨合期间邻近所述滑动套筒螺纹连接到所述生产套管的子系统(sub)的一部分。然后将破裂盘在浆料前面沿所述井眼向下泵送。所述破裂盘被泵送到恰好处于所述阀上方的深度,直到所述破裂盘着陆在所述压裂挡板上。在该实施例中,所述破裂盘设计成在大于脱砂压力、但优选地低于移动所述阀所需压力的压力下破裂。

[0032] 可选地,操作者可以通过所述滑动套筒的暴露端口在压力下注入流体(例如含水流体),由此在所述第一关注区域下方的地下地层中形成微小裂缝。在将所述破裂盘泵送到所述井眼中之前由操作者完成该步骤。

[0033] 在另一实施例中,所述阀是第一爆裂塞。所述第一爆裂塞具有第一爆裂额定值。所述端口表示在所述第一关注区域下方的第二关注区域中安置在所述生产套管中的射孔。在该实施例中,移动所述阀以暴露端口包括在超过所述第一爆裂塞的爆裂额定值的压力下注入所述浆料。可选地,在该实施例中,所述方法还包括在所述第二关注区域处或所述第二关注区域下方沿着所述生产套管安置第二爆裂塞和第三爆裂塞,在多次脱砂的情况下形成多米诺骨牌效应。所述第二爆裂塞和第三爆裂塞具有等于或大于所述第一爆裂额定值的爆裂额定值。

[0034] 在又一方面,被移动的所述阀是球座阀,而所述端口是较早在所述第一关注区域下方的第二关注区域中安置在所述生产套管中的射孔。在该情况下,移动所述阀以暴露端口包括在促使所述球阀失去其在所述阀座上的压力密封的压力下注入所述浆料。促使所述球阀失去其压力密封可以限定为促使所述球阀破碎、促使所述球阀溶解、或者促使所述球阀塌陷。

[0035] 在优选实施例中,对所述生产套管进行射孔包括将自主射孔枪组件泵送到所述井眼中,并且沿着所述第一关注区域自主地击发射孔枪。所述自主射孔枪组件包括射孔枪、用于感测所述射孔枪组件在所述井眼内的位置的深度定位器、以及板载控制器。“自主地击发”表示将控制器预编程,从而当定位器已识别出所述射孔枪沿着所述井眼的选定位置时向所述射孔枪发送致动信号以促使一个或多个雷管击发。在一方面,所述深度定位器是套管接箍定位器,并且所述板载控制器与所述套管接箍定位器交互以根据算法将沿着所述井眼的套管接箍的间距与深度进行关联。所述套管接箍定位器通过检测沿着套管壁的磁性异常来识别接箍。

[0036] 可以观察到所述射孔枪、所述定位器和所述板载控制器一起将尺寸确定成和布置成作为自主单元部署在所述井眼中。在本申请中,“自主单元”表示组件不从地表直接受控。

换句话说,工具组件不依赖于来自地表的信号来获知何时激活工具。优选地,工具组件在没有工作线路的情况下被释放到井眼中。工具组件借助重力下降到井眼中或者向井下泵送。然而,能够可选地采用诸如滑线这样的非电(non-electric)工作线路。

[0037] 在另一方面,在已补救脱砂状况之后才将自主射孔枪组件部署在井眼中。射孔枪组件用于沿着第一关注区域击发新的一组射孔。以该方式,可以在该关注区域中启动新的压裂过程。

附图说明

[0038] 为了更好地理解本发明,后附一些附图、图表、图形和/或流程图。然而应当注意,附图仅示出了本发明的选定实施例,并且因此不应被认为是范围的限制,原因在于本发明可以允许其它等同有效的实施例和应用。

[0039] 图1A至1F呈现井眼的下部分的一系列侧视图。井眼正在经历完井程序,其分阶段使用射孔枪和阀球密封器。这是已知的程序。

[0040] 图1A呈现已用生产套管柱内衬的井眼。环形封隔器沿着井眼安置以隔离选定的地下区域。各区域被标识为“A”、“B”和“C”。

[0041] 图1B示出了已被射孔的井眼的区域A。此外,已使用任何已知的水力压裂技术沿着区域A在地下地层中形成裂缝。

[0042] 图1C示出了塞子已设置在区域A和B中间的封隔器附近。此外,射孔枪被显示为沿着区域B形成新的射孔。

[0043] 图1D示出了正被泵送到井眼中的压裂流体或浆料,其中正沿着区域B在地下地层中诱发人造裂缝。

[0044] 图1E示出了阀球密封器已落入井眼中,由此沿着区域B密封射孔。此外,现在沿着区域C指示射孔枪。沿着区域C的套管正在进行射孔。

[0045] 图1F示出了正被泵送到井眼中的压裂流体或浆料。正沿着区域C在地下地层中诱发人造裂缝。

[0046] 图2A至2F呈现井眼的下部分的一系列侧视图。井眼正在经历完井程序,其分阶段使用射孔枪和塞子。这是已知的程序。

[0047] 图2A呈现已用生产套管柱内衬的井眼。环形封隔器沿着井眼安置以隔离选定的地下区域。各区域被标识为“A”、“B”和“C”。

[0048] 图2B示出了已使用射孔枪进行射孔的井眼的区域A。塞子已与射孔枪一起下入井眼。

[0049] 图2C示出了已使用压裂流体沿着区域A在地下地层中形成裂缝。可见支撑剂现在位于沿着区域A的环形区域中。

[0050] 图2D示出了第二个塞子已设置在区域B和C中间的封隔器附近。此外,射孔枪显示为沿着区域B形成射孔。

[0051] 图2E示出了压裂流体正被泵送到井眼中,其中正沿着区域B在地下地层中诱发人造裂缝。

[0052] 图2F示出了第三个塞子已设置在区域B和C中间的封隔器附近。此外,射孔枪显示为沿着区域C形成射孔。

[0053] 图3A至3F呈现井眼的下部分的一系列侧视图。井眼正在经历完井程序,其分阶段使用射孔枪、压裂套筒和下落的阀球。这是已知的程序。

[0054] 图3A呈现已用生产套管柱内衬的井眼。环形封隔器沿着井眼安置以隔离选定的地下区域。各区域被标识为“A”、“B”和“C”。

[0055] 图3B示出了阀球已落到区域A中的压裂套筒上。

[0056] 图3C示出了已通过将压裂流体泵送到井眼中来施加液压以打开区域A中的压裂套筒。此外,正沿着区域A在地下地层中诱发裂缝。可见支撑剂现在位于沿着区域A的环形区域中。

[0057] 图3D示出了第二阀球已下落。阀球已着陆在区域B中的压裂套筒上。

[0058] 图3E示出了已通过将压裂流体泵送到井眼中来施加液压以打开区域B中的压裂套筒。此外,正沿着区域B在地下地层中诱发裂缝。可见支撑剂现在位于沿着区域B的环形区域中。

[0059] 图3F示出了第三阀球已下落。阀球已着陆在区域C中的压裂套筒上。区域C已准备好进行处理。

[0060] 图4A至4F呈现井眼的下部分的一系列侧视图。井眼正在经历使用阀的完井程序,其中在新颖的应用中致动或移动阀以暴露沿着生产套管的端口。

[0061] 图4A呈现井眼,其中滑动套筒与生产套管柱并列地(in line)螺纹连接。阀球正被泵送到井眼中以致动滑动套筒。

[0062] 图4B示出了阀球已着陆到滑动套筒的阀座上。套筒已被致动,暴露出端口。另外,已将液压流体泵送到井眼中以打开小裂缝。

[0063] 图4C是图4A的井眼的另一视图。在此,破裂盘正沿着井眼被向下泵送。

[0064] 图4D示出了破裂盘已着陆在挡板座上。挡板座在滑动套筒的上游。另外,生产套管已在挡板座上方被射孔。

[0065] 图4E是图4A的井眼的另一视图。在此,压裂流体正沿着井眼被向下泵送通过射孔。裂缝正在地下地层中形成。

[0066] 图4F示出了响应于射孔处的脱砂状况,压裂流体继续沿着井眼被向下泵送。泵送压力已导致破裂盘被破坏,允许浆料沿井眼向下并朝着已暴露的端口移动。

[0067] 图5A和5B示出了用于已射孔的井眼的替代完井方法。在此,破裂盘再次着陆在挡板座上。然而,不同于使用滑动套筒,井眼在破裂盘下方独立地被射孔。

[0068] 图5A呈现井眼,其中破裂盘着陆在挡板座上。井眼在挡板座上方和下方都已接受射孔。地下地层正在通过上部射孔被压裂。

[0069] 图5B是图5A的井眼的另一视图。响应于上部射孔处的脱砂状况,压裂流体继续沿着井眼被向下泵送。泵送压力已导致破裂盘被破坏,允许浆料沿井眼向下并朝着下部射孔移动。

[0070] 图5C呈现井眼,其中阀球着陆在压裂塞中。井眼在压裂塞上方和下方都已接受射孔。地下地层正在通过上部射孔被压裂。

[0071] 图5D是图5C的井眼的另一视图。响应于上部射孔处的脱砂状况,压裂流体继续沿着井眼被向下泵送。泵送压力已导致沿着压裂塞的阀座被剪断,允许浆料沿井眼向下并朝着下部射孔移动。

[0072] 图6A和6B示出了用于已射孔的井眼的另一种替代完井方法。在此,破裂盘再次着陆在挡板座上。另外,第二个下部破裂盘着陆在下部的一组射孔下方的挡板座上。

[0073] 图6A呈现井眼,其中上部破裂盘已着陆在上部挡板座上。井眼在上部挡板座上方和下方都已接受射孔。地下地层正在通过上部射孔被压裂。

[0074] 图6B是图6A的井眼的另一视图。响应于上部射孔处的脱砂状况,压裂流体继续沿着井眼被向下泵送。泵送压力已导致上部破裂盘被破坏,允许浆料沿井眼向下并朝着下部射孔移动。

[0075] 图7A和7B示出了用于已射孔的井眼的一种替代完井方法。在此,在井眼中使用球座阀。井眼在阀下方独立地被射孔。

[0076] 图7A呈现井眼,其中可塌陷的阀球已着陆在阀座上。井眼在阀座上方和下方都已接受射孔。地下地层正在通过上部射孔被压裂。

[0077] 图7B是图7A的井眼的另一视图。响应于上部射孔处的脱砂状况,压裂流体继续沿着井眼被向下泵送。泵送压力已导致阀球塌陷,允许浆料沿井眼向下并朝着下部射孔移动。

[0078] 图8是示出一个实施例中的用于完井方法的步骤的流程图。该方法使用能被致动以暴露射孔下方的一组端口的阀,由此补救脱砂状况。

具体实施方式

[0079] 定义

[0080] 当在本文中使用时,术语“烃”是指主要包括但不限于元素氢和碳的有机化合物。烃还可以包括其它元素,例如但不限于卤素、金属元素、氮、氧、和/或硫。烃通常分为两类:脂肪族或直链烃;以及环状或闭环烃,包括环状萜烯。含烃材料的示例包括可以用作燃料或升级为燃料的任何形式的天然气、油、煤、和沥青。

[0081] 当在本文中使用时,术语“烃流体”是指作为气体或液体的烃或烃的混合物。例如,烃流体可以包括在地层条件下、在处理条件下或者在环境条件(15°C至20°C和1个大气压)下作为气体或液体的烃或烃的混合物。烃流体可以包括例如油、天然气、煤层气、页岩油、热解油、热解气、煤的热解产物、以及处于气态或液态的其它烃。

[0082] 当在本文中使用时,术语“产出的流体”和“生产流体”是指从地下地层(包括例如富含有机物的岩层)取出的液体和/或气体。产出的流体可以包括烃流体和非烃流体。生产流体可以包括但不限于油、天然气、热解页岩油、合成气、煤的热解产物、二氧化碳、硫化氢、和水(包括蒸汽)。

[0083] 当在本文中使用时,术语“流体”是指气体、液体、以及气体和液体的组合、以及气体和固体的组合、液体和固体的组合、以及气体、液体和固体的组合。

[0084] 当在本文中使用时,术语“气体”是指在1个大气压和15°C下处于气相的流体。

[0085] 当在本文中使用时,术语“油”是指主要含有可冷凝烃的混合物的烃流体。

[0086] 当在本文中使用时,术语“地下”是指存在于地球表面下方的地质层。

[0087] 当在本文中使用时,术语“地层”是指任何可定义的地下区域。地层可以包含任何地质构造的一个或多个含烃层、一个或多个不含烃层、上覆岩层、和/或下伏岩层。

[0088] 术语“区域”或“关注区域”是指包含烃的地层的一部分。可选地,地层可以是含水层段。

[0089] 为了本申请的目的,术语“生产套管”包括沿着关注区域固定在井眼中的衬管柱或任何其它管状体,其可以延伸到或者不延伸到地表。

[0090] 当在本文中使用时,术语“井眼”是指通过钻孔或将导管插入地下而在地下形成的孔。井眼可以具有基本圆形的横截面或其它的横截面形状。当在本文中使用时,术语“井”在表示地层中的开口时可以与术语“井眼”互换地使用。

[0091] 选定的具体实施例的描述

[0092] 本文结合一些具体实施例描述了本发明。然而,在以下的详细描述专门针对特定实施例或特定用途的情况下,这样的详细描述应理解为仅是示例性的,而不应当被解释为限制本发明的范围。

[0093] 还结合各种附图描述了本发明的某些方面。在某些图中,图页的顶部应理解为朝着地表,并且图页的底部应理解为朝着井底。尽管井传统上都是以大致竖直的取向完成,但是应当理解现在井也经常倾斜地和/或甚至水平地完成。当参考附图或者在权利要求中使用描述性术语“上”和“下”或者“上部”和“下部”或者类似术语时,它们应理解为指示图页上的或者相对于权利要求术语的相对位置,而不一定是在地面中的取向,原因是无论井眼如何定向本发明都具有实用性。

[0094] 非常规储层中的井眼完井在长度上日益增加。无论这样的井眼是竖直的还是水平的,这样的井都需要安置多个射孔组和多个裂缝。已知的完井相应地需要添加井下硬件,这就增加了这样完井的费用、复杂性和风险。

[0095] 已知有几种技术用于沿着易于进行烃生产操作的延伸井眼压裂多个区域。一种这样的技术包括使用分阶段运行的射孔枪和阀球密封器。

[0096] 图1A至图1F呈现延伸井眼100的下部分的一系列侧视图。井眼100正在经历完井程序,其分阶段使用射孔枪150和阀球密封器160。

[0097] 首先,图1A介绍井眼100。井眼100内衬有生产套管120的套管柱。生产套管120限定端对端螺纹连接的长的一系列管接头。生产套管120提供孔105以用于将流体输送到井眼100中和从井眼100送出。

[0098] 生产套管120位于周围的地下地层110内。环形封隔器沿着套管120安置以隔离选定的地下区域。在图1系列中示出了三个示例性区域,标识为“A”、“B”和“C”。封隔器相应地被指定为115A、115B、115C和115D,并且通常安置在各区域中间。

[0099] 期望沿着区域A、B和C中的每一个进行射孔并压裂地层。图1B示出了已被射孔的区域A。通过引爆与射孔枪150相关联的弹药来安置射孔125A。此外,沿着区域A已在地下地层110中形成裂缝128A。使用任何已知的水力压裂技术来形成裂缝128A。

[0100] 可以观察到关于形成裂缝128A,使用具有支撑剂的液压流体145。支撑剂典型地是砂,并且用于在从地层110释放液压之后保持裂缝128A打开。还可以观察到在注入液压流体145之后,薄的环状砾石填料留在形成于套管120和周围的地层110之间的区域中。这在封隔器115A和115B之间可见。砾石填料有利地支撑周围的地层110并且有助于保持细料免于侵入孔105。

[0101] 作为下一步骤,压裂区域B。这在图1C中显示。图1C示出了塞子140已设置在区域A和B中间的封隔器115B附近。此外,射孔枪150已沿着区域B安置。与射孔枪150关联的附加弹药被引爆,产生射孔125B。

[0102] 接下来,图1D示出了压裂流体145正被泵送到孔105中。正沿着区域B在地下地层110中形成人造裂缝128B。另外,新的射孔枪150已下降到井眼100中并沿着区域C安置。阀球密封器160已落入井眼中。

[0103] 图1E示出了完成多区域井眼100的下一步骤。在图1E中,阀球密封器160已落入孔105中并且已沿着区域B着陆。阀球密封器160密封射孔125B。

[0104] 在图1E中也可以观察到射孔枪150已在井眼100中升高到区域C。与射孔枪150相关联的剩余弹药被引爆,产生新的射孔125C。在射孔之后,压裂流体145在射孔枪150后面被泵送到孔105中。

[0105] 最后,图1F示出了压裂流体145正被进一步泵送到井眼100中。具体地,压裂流体145被泵送通过沿着区域C的新射孔125C。沿着区域C在地下地层120中已诱发人造裂缝128C。射孔枪150中的击发弹药现已用完,并且将枪从井眼100拉出。

[0106] 图1A至1F的多区域完井程序被称为“即时射孔”(JITP)过程。JITP方法代表一种高效的方法,原因是可以在射孔枪处于井眼中的情况下将压裂流体下入井眼。一旦被射出射孔并且形成裂缝,阀球密封器就下落。当阀球密封器座置在射孔上时,在下一个区域击发射孔枪。对于多个区域重复这些步骤,直到所有的枪都用完。然后设置新的塞子140并且该过程再次开始。

[0107] JITP过程需要低的冲洗量并提供沿着各区域管理脱砂的能力。但是,它需要在延伸的井中钻穿多个塞子。另外,即使是该程序在多区域阶段的最高区域处也易于脱砂。在这方面,如果在泵送期间沿着示例性区域C发生脱砂,则将需要进行清理操作。这是由于浆料145不能被完全泵送通过射孔125C并进入地层,原因是存在沿着区域B的阀球密封器160和在区域A上方的桥塞140。

[0108] 已使用的替代完井程序是传统的“堵塞和射孔(Plug and Perf)”技术。这在图2A至2F中示出。图2呈现井眼200的下部分的一系列侧视图。井眼200经历完井程序,其分阶段使用射孔塞240和枪250。

[0109] 图2A呈现已内衬有生产套管220的套管柱的井眼200。井眼200与图1A的井眼100相同。井眼200内衬有生产套管220的套管柱。生产套管220提供孔205以用于将流体输送到井眼200中和从井眼200送出。生产套管220位于周围的地下地层210内。

[0110] 环形封隔器同样沿着套管220安置以隔离选定的标识为“A”、“B”和“C”的地下区域。封隔器相应地被标注为215A、215B、215C和215D。

[0111] 为了完成井眼200,区域A、B和C均被射孔。在图2B中,射孔枪250已下入孔205。枪250已沿着区域A安置。已通过引爆与射孔枪250相关联的弹药而在生产套管120中形成射孔225A。

[0112] 随着射孔枪250一起,已设置塞子240A。在实践中,塞子240A典型地在线缆255上的射孔枪的下端处下入孔205。换句话说,在弹药引爆之前,塞子240A和枪250一起下入井眼200。

[0113] 接下来,将压裂流体245注入到新形成的射孔225A中。带有支撑剂的压裂流体245在压力下被注入以便流动通过射孔225A并进入地层210。以该方式,形成人造裂缝228A。

[0114] 图2C示出了沿着区域A已在地下地层210中形成的裂缝228A。现在可见支撑剂位于沿着区域A的环形区域中。由此,形成一些砾石填料。

[0115] 在附图的图2系列的完井方法中,关于区域B和C重复沿着区域A进行射孔和压裂的过程。图2D示出了已下入井眼200的第二射孔枪250和第二塞子240B。枪250沿着区域B安置,而塞子240B设置在封隔器215B附近。此外,与射孔枪250相关联的弹药已被引爆,沿着区域B形成新的射孔225B。

[0116] 接下来,将压裂流体245注入新形成的射孔225B中。带有支撑剂的压裂流体245在压力下被注入以便流动通过射孔225B并进入地层210。以该方式,并且如图2E所示,形成新的人造裂缝228A。

[0117] 对于区域C重复“堵塞和射孔”过程。图2F示出了第三射孔枪250已在孔205中下降到区域C附近,并且第三塞子240C已设置在区域B和C中间的封隔器附近。此外,射孔枪250显示为沿着区域C形成射孔。应当理解,随后使用压裂流体(未示出)沿着区域C在地下地层210中形成裂缝(也未示出)。

[0118] 为了对多个区域进行射孔,“堵塞和射孔”过程需要使用许多独立的塞子。在可以开始生产作业之前那些塞子相应地必须被钻穿。此外,“堵塞和射孔”过程需要大的冲洗量并且也易于脱砂。在这方面,如果在泵送期间沿着任何区域发生脱砂,则将需要进行清理操作。这是由于浆料不能被完全泵送通过射孔并进入地层,或进一步沿井眼向下,原因是在目标区域正下方存在桥塞(例如塞子240C)。

[0119] 已使用的又一完井程序包括沿着生产套管安置多个压裂套筒(或“压裂套管”)。这被称为“阀球和套筒式”完井。阀球和套筒技术在图3A至3F中示出。图3的图呈现井眼300的下部分的一系列侧视图。井眼300正在经历完井程序,其分阶段使用压裂套筒321。

[0120] 首先,图3A介绍井眼300。井眼300与图1A的井眼100相同。井眼300内衬有生产套管320的套管柱,其提供孔305以用于将流体输送到井眼300中和从井眼300送出。环形封隔器315A、315B、315C、315D沿着套管320安置以隔离选定的地下区域。各区域被标识为“A”、“B”和“C”。

[0121] 在图1和图2系列所示的完井过程中,区域A、B和C中的每一个被顺序地射孔。然而,在图3系列的完井过程中,使用了压裂套筒321A、321B、321C。使用阀球323A、323B、323C顺序地打开压裂套筒321A、321B、321C。这促使各端口沿着生产套管320暴露。

[0122] 现在参见图3B,可以看出压裂套筒321A已沿着区域A安置。阀球323A已落入井眼300中并着陆到与压裂套筒321A关联的阀座上。

[0123] 图3C示出了已施加液压以打开压裂套筒321A。这通过将压裂流体345泵送到孔305中来完成。如图3C所示,压裂流体345流动通过压裂套筒321A,进入生产套管320和周围的地下地层310之间的环形区域,并进入地层310本身。正沿着区域A在地下地层310中诱发裂缝328A。另外,可见支撑剂现在位于沿着区域A的环形区域中。

[0124] 在附图的图3系列的完井方法中,关于区域B和C重复沿着区域A打开套筒并压裂的过程。图3D示出了第二阀球323B已落入井眼300中并着陆在套筒321B上。套筒321B沿着区域B定位。

[0125] 图3E示出了已施加液压以打开压裂套筒321B。这通过将压裂流体345泵送到井眼300中来完成。正沿着区域B在地下地层310中诱发裂缝。可见支撑剂现在位于沿着区域B的环形区域中。

[0126] 对于区域C重复“阀球和套筒”过程。图3F示出了第三阀球323C已落入孔305中。阀

球323C已着陆到邻近区域C的压裂套筒321C上。应当理解,随后沿着区域C在地下地层310中形成裂缝(未示出)。

[0127] 如图3系列所示的套筒321A、321B、321C的使用减少了完井所需的冲洗量。这相应地减小了对环境的影响。同时,多个套筒的使用带来更高的硬件风险和更高的脱砂风险。如果在泵送期间沿着任何区域发生脱砂,则将需要进行清理操作。这是由于浆料不能被完全泵送通过射孔并进入地层,原因是存在密封套筒。

[0128] 随着对“精确点增产(pinpoint stimulation)”的需求已获得认可,对于给定的井长度,阶段的数量在将来有可能增加。然而,单区域增产的经验表明,当井眼分成较小的处理段时,脱砂的风险会增加。这意味着泵送到容易处理的岩石中的机会减少。从仅使用压裂套筒的完井的脱砂问题中恢复是非常昂贵的,并且通常涉及井干扰和在钻井操作期间安置在井中的硬件的移除(即,破坏)。

[0129] 出于这些原因和可能的其它原因,希望修改图1系列、图2系列和图3系列的过程中呈现的程序。具体地,希望用形成流体屏障的阀来替代井眼塞子和套筒,但是其中可以利用增加的泵送压力来选择性地移除流体屏障以暴露出穿过生产套管的端口。以该方式,浆料可以被泵送通过随后暴露出的端口。这使得即使在发生脱砂时也能够继续在井眼中连续泵送压裂流体。

[0130] 提供了用于在井眼中提供阀以移除针对井下流体流动的屏障的各种方法并且在下面进行描述。

[0131] 图4A至4F呈现井眼400的下部分的一系列侧视图。井眼400正在经历完井程序,其包括至少一个关注区域的射孔和压裂。井眼400限定已经通过地下地层410形成的孔405。在示例性的图4系列中,井眼400正在以水平取向完成。

[0132] 图4A介绍井眼400。井眼400正在用生产套管420的套管柱完成。生产套管420表示端到端螺纹连接的一系列钢管接头。生产套管420提供用于流体进入和离开井眼400的路径。

[0133] 环形区域415位于生产套管420和地下地层410的周围岩石基体之间。环形区域415填充有水泥,这在钻井和完井技术中是已知的。在环形区域415中使用所谓的膨胀封隔器的情况下(例如参见附图的图1系列的封隔器115A、115B、115C和115D),环形区域415将不填充水泥。

[0134] 压裂套筒440已沿着生产套管420安置。压裂套筒440限定液压致动阀。这可以是例如德克萨斯州Sugar Land的Schlumberger有限公司的Falcon液压致动阀。压裂套筒440包括阀座442。阀座442尺寸确定成接收阀球450。在图4A的视图中,阀球450已下落,并且如箭头B所示沿井眼400向下朝着阀座442行进。当在阀座442上着陆时,阀球450将密封套筒440中的通孔445。

[0135] 如图4A所示,井眼400还包括挡板座462。挡板座462限定与生产套管420并列地螺纹连接的子系统。挡板座462尺寸确定成接收在图4C和4D中显示为460的破裂盘。

[0136] 图4B呈现井眼400的下一视图。在此,阀球450已着陆在压裂套筒460的阀座442上。阀球450提供充分的压力密封,在孔405中形成流体屏障。

[0137] 图4B也示出了压裂套筒440已移动。这意味着已由阀球450对阀座462施加压力,导致套筒440移位,由此暴露出一个或多个端口455。通过将流体注入井眼中并且在地表处使

用泵(未示出)施加流体压力来施加压力。

[0138] 也可以看到已发生某种程度的压裂。作为在压力下注入流体的结果,在地下地层410中已形成至少一个小裂缝458或“微裂缝”。优选地,流体是侵入近井眼区域的盐水或其它含水流体。

[0139] 现在一起参考图4C和4D,图4C示出了破裂盘460在孔405中的安置情况。破裂盘460正在井下泵送,如箭头D所示。在图4D中,破裂盘460已着陆在挡板座462上。挡板座462位于压裂套筒440附近并恰好处于新暴露出的流动端口455上方。

[0140] 破裂盘460包括隔膜或其它压敏装置。压力装置具有爆裂额定值。当孔405中的压力超过爆裂额定值时,盘460将破裂,允许流体流动通过其中。在爆裂之前,盘460对流动通过孔405的流体形成屏障。

[0141] 在图4D中也可见新的一组射孔478。射孔478已通过套管420形成并进入地下地层410。使用射孔枪(未示出)射出射孔。射孔枪可以是选定的例如击发16次射击的火枪。枪具有引爆的关联弹药以便促使从枪击发射出物并且促使射出物进入周围的生产套管420。典型地,射孔枪420包含沿着枪420的长度分布并且根据期望规范定向的成形的弹药串。

[0142] 替代地,射孔枪可以是例如在美国专利公报第2013/0062055号中描述的自主射孔枪组件的一部分。自主射孔枪组件设计成释放到井眼400中并且自行致动。在这方面,该组件不需要线缆,并且不需要以其他方式机械栓系或电连接到井眼外部的设备。输送方法可以包括重力、泵送或牵引输送。

[0143] 自主射孔枪组件通常包括射孔枪、深度定位器、和板载控制器。深度定位器可以是例如当组件通过井眼下落时测量磁通量的套管接箍定位器。磁通量的异常被解读为套管接箍沿着套管柱的长度定位。当组件通过井眼向下移动时,该组件通过沿着套管柱计数接箍来了解其在井眼中的位置。

[0144] 板载控制器被编程用以发送致动信号。当组件已到达沿着井眼的选定位置时,信号被发送到射孔枪。在图4B的情况下,该位置是在压裂套筒440上方且沿着关注区域的深度。为了确认位置,控制器可以用已知的套管或地层测井记录进行预编程。控制器将由套管接箍定位器或其它测井工具实时获取的读数与预装载的测井记录进行比较。

[0145] 自主组件也可以包括电源。电源可以是例如一个或多个锂电池或电池组。电源将与板载控制器一起位于外壳中。射孔枪、定位装置、板载控制器和电池组一起尺寸确定成和布置成作为自主单元部署在井眼中。

[0146] 自主组件限定长形本体。该组件优选地由易碎或“脆性”材料制成。在这方面,它被设计成当与射孔枪关联的弹药被引爆时分解。

[0147] 完井组件优选地配备有专用工具定位算法。该算法允许工具在前往井下选定位置的途中准确地跟踪套管接箍。于2013年5月24日提交的美国专利申请第13/989,726号公开了一种在井眼中致动井下工具的方法。该专利申请的名称为“用于自主井下工具的自动控制 and 定位的方法(Method for Automatic Control and Positioning of Autonomous Downhole Tools)”。该专利申请作为美国专利公报第2013/0255939号被公开。

[0148] 根据美国专利公报第2013/0255939号,操作者将首先从井眼采集CCL数据集。这优选地使用传统的套管接箍定位器来完成。套管接箍定位器在线缆或电线上进入井眼以检测沿着套管柱的磁性异常。CCL数据集将连续记录的磁信号与测量的深度进行关联。更具体

地,可以基于牵引CCL测井装置的线缆的长度和速度来确定套管接箍的深度。以该方式,形成用于井眼的第一CCL测井记录。

[0149] 在实践中,第一CCL测井记录被下载到作为板载控制器的一部分的处理器中。板载控制器处理由套管接箍定位器生成的深度信号。在一方面,板载控制器将来自位置定位器的生成信号与从现有CCL测井记录获得的用于井眼对象的预定物理特征值(signature)进行比较。

[0150] 板载控制器被编程为当自主工具横穿套管接箍时连续地记录磁信号。以该方式,形成第二CCL测井记录。处理器或板载控制器通过应用移动窗口统计分析来变换所记录的第二CCL测井记录的磁信号。此外,处理器在部署井下工具期间将经变换的第二CCL测井记录与第一CCL测井记录递增地进行比较以关联指示套管接箍位置的值。这优选地通过模式匹配算法完成。该算法将表示套管接箍位置的各个峰值或者甚至是峰值的组进行关联。此外,处理器被编程为识别井眼中的选定位置,并且随后当处理器已识别出选定位置时,将激活信号发送到可致动的井眼装置或工具。

[0151] 在一些情况下,操作者可以访问井眼图,其提供关于诸如套管接箍这样的井下标记物的间距的确切信息。然后,板载控制器可以被编程为对套管接箍进行计数,由此在工具在井眼中向下移动时确定工具的位置。

[0152] 在一些情况下,生产套管可以被预先设计成具有所谓的短接头,即,例如长度仅为15或20英尺的选定接头,而不是由操作者选择的用于完井的“标准”长度例如30英尺。在该情况下,当完井组件移动通过套管时,板载控制器可以使用由短接头提供的不均匀间隔作为检查或确认井眼中的位置的手段。

[0153] 在一个实施例中,该方法还包括变换用于第一CCL测井记录的CCL数据集。这也通过应用移动窗口统计分析来完成。第一CCL测井记录被下载到处理器中作为第一变换CCL测井记录。在该实施例中,处理器将第二变换CCL测井记录与第一变换CCL测井记录递增地进行比较以将指示套管接箍位置的值进行关联。

[0154] 应当理解,深度定位器可以是任何其它的测井工具。例如,板载深度定位器可以是伽马射线测井工具、密度测井工具、中子测井工具、或其它的地层测井工具。在该情况下,控制器将来自测井工具的实时读数与预装载的伽马射线或中子测井记录进行比较。替代地,深度定位器可以是感测沿着套管安置的标记物(例如IR收发器)的位置传感器(例如IR读取器)。当位置传感器已识别出沿着套管的一个或多个选定标记物时,板载控制器将致动信号发送到射孔枪。

[0155] 在一个实施例中,算法与板载加速度计交互。加速度计是测量在自由下落期间所经历的加速度的装置。加速度计可以包括多轴能力以检测作为向量的加速度的大小和方向。在与分析软件通信时,加速度计允许确认对象的位置。

[0156] 在上面引用的美国专利公报第2013/0255939号中公开了工具定位算法的附加细节。该相关共同待决申请的全部内容通过引用并入本文。

[0157] 为了防止过早致动,提供了一系列门。美国专利申请第14/005,166号描述了一种从井口释放的射孔枪组件。该申请于2013年9月13日提交,并且名称为“用于自主井下工具的安全系统(Safety System for Autonomous Downhole Tool)”。该专利申请作为美国专利公报第2013/0248174号被公开。该公开申请中的图8和门的相应讨论通过引用并入本文。

[0158] 在射出射孔之后,操作者开始地层压裂操作。图4E展示了浆料470通过孔405的移动。浆料如箭头S所示在井下泵送。当浆料470到达射孔时,浆料侵入地下地层410,在岩石中形成隧道和微小的裂缝478。

[0159] 可以观察到通过破裂盘460防止浆料向下移动到压裂套筒440中的流动端口458。重要的是,破裂盘460被设计成具有高于估计地层分离压力的爆裂额定值。理想地,操作者或完井工程师将基于地质机械建模、现场数据和/或相同领域的以往经验来预先确定预期的地层分离压力。选择具有足够高于地层分离压力的爆裂额定值的破裂盘以避免泵送期间的意外破裂。

[0160] 最后,图4F示出了已发生脱砂状况。砂或其它支撑剂材料已紧密填充在射孔475和裂缝478中,甚至达到了不再能泵送另外的浆料的程度。当含水(或其它)载体介质泄漏到地层中时会发生该情况,在原位留下砂粒。

[0161] 地表处的操作者通过观察地表泵认识到已发生脱砂状况。在这方面,压力将在井眼中快速建立,在地表处产生快速爬升的压力读数。在常规操作的条件下,操作者需要回退泵速以防止井眼压力超过套管的爆裂额定值以及最大环箍和拉伸应力,并防止损坏地表阀。随后,操作者可以希望利用井底压力使井进行回流,以尝试和推送载有支撑剂的浆料离开井并到达地表。在已知的程序中,如果速度不足,则支撑剂将在套管中掉落并穿过井的后部,产生在操作可以继续之前必须要被机械移除的支撑剂桥。另一方面,如果在地表处压力过快减小,则支撑剂的高流速会在其流动通过明显较小的管道时造成阀和管道的严重磨损。

[0162] 在附图的图4系列所示的新颖方法中,脱砂的问题是自我补救的。在这方面,在脱砂期间由泵送以及由载有支撑剂的浆料的静压头产生的过量压力将促使破裂盘460中的隔膜爆裂。该偶然事件已在图4F中发生。

[0163] 在图4F中可见已通过破裂盘460形成通孔465。在井眼中剩余的浆料470现在正在移动通过通孔465。此外,浆料470正在移动通过压裂套筒440的流动端口455。以该方式,脱砂的问题被补救。

[0164] 在附图的图4系列的方法中,破裂盘460用作阀。阀响应于脱砂期间遇到的井眼压力而“打开”。当阀460打开时,针对沿井眼向下的流体流动的屏障被移除,暴露出流动端口455。这相应地缓解了过大的井眼压力。

[0165] 应当注意,破裂盘460实际上是图4系列的方法中的可选特征。可以通过移除破裂盘460并且仅使用压裂套筒440作为打开的阀来修改该方法。在该情况下,套筒440在射孔和压裂操作期间保持在其关闭位置,并且仅在指示脱砂的较高的井眼压力出现时打开。结果是流动端口455在图4E的步骤中打开而不是在图4B中的步骤中打开。

[0166] 在另一实施例中,使用破裂盘而没有压裂套筒。图5A和5B示出了这样的方法。

[0167] 首先,图5A示出了经历完井的井眼500。井眼500正在以水平取向完成。井眼500的完成包括在周围的地下地层510内固接就位的生产套管520的套管柱。可选的水泥在围绕套管520的环形区域515中示出。

[0168] 以这种观点,井眼500已沿着由575'和575''处的独立射孔指示的两个关注区域完成。由射孔575'指示的下部关注区域已被压裂。在578'处示意性地示出一定程度的裂缝。由射孔575''指示的上部关注区域也已被压裂。在578''处示出裂缝。

[0169] 在图5A中,破裂盘560已被向下泵送到孔505中。盘560已着陆在挡板座562上。挡板座562位于下部关注区域和相应的射孔575'上方。以该方式,破裂盘560位于下部射孔575'的组和上部射孔575"的组之间。

[0170] 破裂盘560包括压力隔膜564。隔膜564具有高于上部射孔575"的预期地层压裂压力的爆裂压力。具体地,盘560被设计成在上部射孔575"的压裂期间脱砂的情况下破裂。因此,用于破裂盘560及其隔膜564的爆裂额定值被设计成近似于在脱砂的情况下将在井眼500中经受的压力。

[0171] 图5B展示了已发生脱砂的状况。可见浆料570已移动经过上部射孔575,并且已沿孔505向下朝着下部射孔575'的组移动。由于脱砂造成的压力累积已导致压力隔膜564破裂,在破裂盘560中形成新的通孔565。浆料570将继续进入下部射孔575'的组,如箭头S所示。因此,破裂盘560基本上用作泄压阀。

[0172] 在另一实施例中,使用可以响应于脱砂状况而剪断的压裂塞。图5C和5D示出了这样的方法。

[0173] 首先,图5C示出了与图5A中一样经历完井的同样的井眼500。井眼500正在以水平取向完成。井眼500的完成包括在周围的地下地层510内固接就位的生产套管520的套管柱。可选的水泥在围绕套管520的环形区域515中示出。

[0174] 在图5C中,压裂塞580已沿着套管520安置。压裂塞580可以是例如具有带笼架的球阀和阀座的Halliburton复合压裂塞。压裂塞580包括尺寸确定成接收球阀550的阀座584。球阀550已着陆在下部关注区域和相应的射孔575'上方的阀座584上。以该方式,球阀550位于下部射孔575'的组和上部射孔575"的组之间。

[0175] 压裂塞580包括设计成响应于孔505内的流体压力大于上部射孔575"的压裂期间的脱砂压力而释放的剪切销582。这是比用于上部射孔575"的预期地层压裂压力更高的压力。阀座584由剪切销保持,当超过设计的压力差时(最有可能由支撑剂到上部地层575"中的脱砂而导致),所述剪切销释放阀(球阀550和阀座584)。

[0176] 图5D展示了已发生脱砂的状况。可见浆料570已移动经过上部射孔575",并且已沿孔505向下朝着下部射孔575'的组移动。由于脱砂造成的压力累积已导致沿着压裂塞580的销582剪切,允许浆料570继续进入下部射孔575'的组,如箭头S所示。球阀550和阀座584正在井眼500中下落。由此,可释放的压裂塞580的球阀和阀座式布置基本上用作泄压阀。

[0177] 在另一实施例中,在上部关注区域和下部关注区域之间使用两个破裂盘而没有压裂套筒。图6A和6B示出了这样的方法。

[0178] 首先,图6A示出了经历完井的井眼600。井眼600正在以水平取向完成。井眼600的完成包括在周围的地下地层610内固接就位的生产套管620的套管柱。可选的水泥在围绕套管620的环形区域615中示出。

[0179] 在图6A中,井眼600已沿着由在675'和675"处的独立射孔指示的两个关注区域完成。由射孔675'指示的下部关注区域已被压裂。在678'处示意性地示出一定程度的裂缝。由射孔675"指示的上部关注区域也已被压裂。在678"处示出裂缝。

[0180] 在图6A中,上部破裂盘660"已被向下泵送到孔605中。盘660"已着陆在上部挡板座662"上。上部挡板座662"位于下部关注区域和相应的射孔675'上方。以该方式,破裂盘660"位于上部射孔的组675"和下部射孔的组675'之间。

[0181] 上部破裂盘660"包括压力隔膜664"。隔膜664"具有高于地层610的预期地层压裂压力的爆裂压力。具体地,盘660"设计成在上部射孔675'压裂期间脱砂的情况下破裂。因此破裂盘660"及其隔膜664"的爆裂额定值设计成近似于在脱砂情况下将在井眼600中经受的压力。

[0182] 井眼600还包括下部破裂盘660'。先前已将下部破裂盘660'在上部破裂盘660"之前向下泵送到孔605中。下部破裂盘660'尺寸确定成穿过上部挡板座662"并且着陆在下部挡板座662'上。下部挡板座662'位于下部关注区域和相应的射孔675'下方。

[0183] 下部破裂盘660'还包括压力隔膜664'。隔膜664'具有高于上部破裂盘660"的爆裂额定值的爆裂压力。具体地,盘660'被设计成即使在上部射孔675"的压裂期间也能承受预期的脱砂。

[0184] 图6B示出了已发生脱砂的状况。可见浆料670已移动经过上部射孔675",并且已沿孔605向下朝着下部射孔675'的组移动。由于脱砂造成的压力累积已导致上部破裂盘660"中的压力隔膜664'破裂,在破裂盘660"中形成新的通孔665"。下部破裂盘660'保持完整,并且迫使浆料670进入下部射孔675'的组,如箭头S所示。

[0185] 由此可见,第一破裂盘660"再次基本上用作泄压阀。

[0186] 在另一实施例中,使用具有可移除阀球的压裂塞而没有压裂套筒。图7A和7B示出了这样的方法。

[0187] 首先,图7A示出了经历完井程序的另一井眼700。井眼700正在以水平取向完成。井眼700的完成包括在周围的地下地层710内固接就位的生产套管720的套管柱。可选的水泥在围绕套管720的环形区域715中示出。

[0188] 在图7A的视图中,井眼700再次沿着由在775'和775"处的独立的射孔指示的两个关注区域完成。由射孔775'指示的下部关注区域已被压裂。在778'处示意性地示出一定程度的裂缝。由射孔775"指示的上部关注区域也已被压裂。在778"处示出裂缝。

[0189] 在图7A中,球座阀760已沿着地下地层710安置。阀760包括与生产套管720并列地螺纹连接的子系统。阀760具有尺寸确定成接收阀球750的阀座762。在图7A中可见阀球750已落入孔705中并且已着陆在阀座762上,由此形成防止流体进一步沿孔705向下流动的压力密封。

[0190] 球座阀760位于下部关注区域和相应的射孔775'上方。同时,阀760位于上部关注区域和相应的射孔775"下方。

[0191] 阀球750独特地由响应于压力而塌陷的材料制造。不同于具有爆裂压力,它具有塌陷压力。塌陷压力是阀球750将塌陷或破裂或溶解的压力。在图7A和7B的布置中,该压力高于地下地层710的预期地层压裂压力。具体地,阀球750被设计成在上部射孔775'压裂期间脱砂的情况下塌陷。因此,阀球750的塌陷额定值被设计成近似于在脱砂的情况下将在井眼700中经受的压力。

[0192] 在图7A中,浆料770正沿孔705向下泵送。这形成了上部裂缝778"的组。然而,图7B展示了在这些裂缝778"的层级处已发生脱砂状况。可见浆料770已移动经过上部射孔775",并且已沿孔705向下朝着下部射孔775'的组移动。由于脱砂造成的压力累积已导致阀球(750)塌陷、破碎、分解和/或溶解,在阀座762中形成新的通孔765。浆料770将继续进入下部射孔775'的组,如箭头S所示。因此,球座阀760基本上用作泄压阀。

[0193] 有利地,对于该实施例,完井工程师(或操作者)不需要知道下游压力为便限定用以形成泄漏路径的最佳压力。处理压力仅作用于阀球750内部的压力,这导致其塌陷或破坏。这相应地允许流体旁路通过塌陷的阀球750。

[0194] 本发明的方法能够以流程图的形式呈现。图8给出了体现一个实施例中的完井方法800的步骤的流程图。结合该方法,补救沿着井眼的脱砂状况。

[0195] 方法800首先包括形成井眼。这在方块810处示出。井眼限定延伸到地下地层中的孔。井眼可以形成为大致竖直的井;更优选地,井被钻为倾斜井,或者甚至更优选地被钻为水平井。

[0196] 方法800还包括用生产套管柱内衬井眼的至少下部分。这在方块820处被提供。生产套管由端对端螺纹连接的一系列钢管接头组成。

[0197] 方法800还包括沿着生产套管安置阀。这在方块840处指示。阀针对孔内的流体流动形成可移除的屏障。优选地,阀是具有接收阀球的阀座的滑动套筒,其中阀球从地表下落以在阀座上形成压力密封。也可以使用其它类型的阀,如下所述。

[0198] 方法800还包括对生产套管进行射孔。这在方块850处示出。套管沿着地下地层内的第一关注区域被射孔。第一关注区域位于阀处或阀上方。射孔的过程包括将射出物击发到套管中,通过周围的环形区域(其可以具有或不具有水泥环),并且进入组成地下地层的周围岩石基体。这通过在井眼中使用射孔枪来完成。

[0199] 方法800接下来包括将浆料注入井眼中。这在方块860处被提供。浆料包括优选在含水介质中载带的支撑剂。将浆料以足够的量和足够的压力注入,从而沿着关注区域在地下地层中形成裂缝。

[0200] 方法800还包括在足以移动阀并克服针对流体流动的屏障的压力下泵送浆料。这在方块870处可见。响应于在浆料注入期间产生的沿着第一关注区域的脱砂状况来进行泵送。移动阀将沿着生产套管的端口暴露给阀处或阀下方的地下地层。

[0201] 在该方法的一方面,阀是滑动套筒。在该情况下,移动阀以暴露沿着生产套管的端口包括移动或“滑动”套筒以暴露在滑动套筒中构建的一个或多个端口。可选地,操作者可以在对套管进行射孔之前通过已暴露的端口在压力下注入流体(例如含水流体)。这会在邻近滑动套筒的第一关注区域下方的地下地层中形成微小的裂缝。在该情况下,操作者随后将破裂盘安置在滑动套筒的顶部上以在压裂期间密封孔免受浆料影响。

[0202] 在另一实施例中,方法800还包括沿生产套管安置压裂挡板。压裂挡板位于压裂阀上方,但位于第一关注区域处或第一关注区域下方。压裂挡板可以是在初始磨合期间靠近阀螺纹连接到生产套管的子系统的一部分。然后将破裂盘在浆料前面沿着井眼向下泵送。盘被泵送到恰好处于阀上方的深度,直到盘着陆在压裂挡板上。在该实施例中,破裂盘设计成在大于脱砂压力但低于移动阀所需压力的压力下破裂。

[0203] 在替代的布置中,破裂盘本身是阀。在该布置中,不使用压裂阀;而是将第二破裂阀座安置在下部关注区域的下方。由此,用作阀的破裂盘是上部爆裂塞,而另一个破裂盘是下部爆裂塞。

[0204] 在另一个实施例中,阀是第一爆裂塞。第一个爆裂塞将具有第一爆裂额定值。端口表示在第一关注区域下方的第二关注区域中安置在生产套管中的射孔。在该实施例中,移动阀以暴露端口包括在超过第一爆裂塞的爆裂额定值的压力下注入浆料。可选地,在该实

施例中,所述方法还包括在第二关注区域处或第二关注区域下方沿着生产套管布置第二爆裂塞和第三爆裂塞,在多次脱砂的情况下形成多米诺骨牌效应。第二爆裂塞和第三爆裂塞具有等于或大于第一爆裂额定值的第二爆裂额定值。当爆裂塞破裂时,通过爆裂塞形成新的通孔,其中已经移除了针对流体流动的屏障。

[0205] 在另一方面,被移动的阀是球座阀,而端口是早期在第一关注区域下方和阀下方的第二关注区域中安置在生产套管中的射孔。在该情况下,移动阀以暴露端口包括在促使阀球失去其在阀座上的压力密封的压力下注入浆料。促使阀球失去其压力密封可以限定为促使阀球粉碎、促使阀球溶解、或者促使阀球塌陷。

[0206] 方法800还包括进一步泵送浆料通过已暴露的端口。这在方块880处示出。以该方式,脱砂状况被补救。换句话说,“脱砂”浆料在井下的“支撑剂处置区域”中被处置。

[0207] 优选地,方法800还包括估计沿着关注区域的脱砂压力的步骤。这在方块830处被提供。优选地在方块840的步骤中沿着生产套管安置阀之前完成该确定步骤。原因是使操作者知道要使用什么类型的阀,以及阀需要采用怎样的压力额定值或爆裂额定值。

[0208] 在方法800的优选实施例中,方块850的涉及对生产套管进行射孔的步骤包括将自主射孔枪组件泵送到井眼中并沿着第一关注区域自主击发射孔枪。自主射孔枪组件包括射孔枪、用于感测组件在井眼内的位置的深度定位器、和板载控制器。“自主击发”表示将控制器预编程,从而当定位器已识别出射孔枪的沿着井眼的选定位置时向射孔枪发送致动信号以促使一个或多个雷管击发。在一方面,深度定位器是套管接箍定位器,并且板载控制器与套管接箍定位器交互以将沿着井眼的套管接箍的间距与深度进行关联。套管接箍定位器通过检测沿套管壁的磁性异常来识别接箍。

[0209] 在另一方面,板载深度定位器是地层测井工具如伽马射线测井工具、密度测井工具、或中子测井工具。在该情况下,控制器将来自测井工具的实时读数与预装载的地层测井记录进行比较。替代地,深度定位器可以是感测沿着套管安置的标记物(例如IR收发器)的位置传感器(例如IR读取器)。当位置传感器已识别出沿着套管的一个或多个选定标记物时,板载控制器将致动信号发送到射孔枪。

[0210] 可以观察到射孔枪、定位器和板载控制器一起尺寸确定成和布置成作为自主单元部署在井眼中。在本申请中,“自主单元”表示组件不从地表直接受控。换句话说,工具组件不依赖于来自地表的信号来获知何时激活工具。优选地,工具组件在没有工作线路的情况下被释放到井眼中。工具组件依靠重力下降到井眼中,或者在井下被泵送。然而,可以可选地采用诸如滑线这样的非电工作线路来取回自主工具。

[0211] 优选的是位置传感器和板载控制器根据上述定位算法用软件操作。具体地,该算法优选地采用窗口统计分析来解释和变换由套管接箍定位器(或替代地,地层测井工具)生成的磁信号。在一方面,板载控制器将生成的信号与针对井眼对象获得的预定物理特征值进行比较。例如,可以在部署自主工具之前运行测井以便确定套管接箍的间距或地层特征的位置。可以基于拉动测井装置的线缆的速度来确定套管接箍或地层特征的相应深度。

[0212] 当自主射孔枪组件用于完成水平井眼时,操作者可以在井底处安装液压致动阀。液压致动阀可以恰好安装在例如压裂挡板球座装置的上游。附加的阀座或压裂挡板环等可以从上到下以逐渐减小的尺寸安装在液压致动阀的更上游。

[0213] 用于处理的井的准备工作通过向下泵送第一阀球开始。阀球座置在液压致动阀下

方的最低或最深的阀座上。一旦座置就位,套管被加压到“设计”的设定点。例如,可以通过泵送含水流体达到10,000psi的地表压力。该压力(作用于着陆在阀座上的阀球上)导致液压致动阀打开,暴露出沿着套管的一个或多个端口。一旦端口暴露,静压力和泵送压力就会促使在邻近阀的地下地层中形成小开口。淡水继续被泵送以在地层中产生“微型”裂缝。这样的裂缝在图4B中示出为458。

[0214] 应当注意形成“微型”裂缝458的过程为操作者提供了评估地下地层的岩石力学特性的实时机会。具体地,操作者能够确定启动压裂通常所需的压力水平。这可以用作上述方块830的“估计”步骤的一部分。操作者应理解,脱砂压力将会明显高于该初始地层分离压力。然后操作者可以选择合适的密封装置例如图4C的破裂盘460或图7A的可塌陷阀球750,以便在井中使用。

[0215] 将密封装置沿着井眼向下泵送直到其刚好座置在打开的液压致动阀上方的阀座(或挡板环)462上。在该情况下,密封装置针对流过井的孔的流体形成屏障。同时,并且如上所述,密封装置形成“泄压阀”,其可以通过脱砂状况的压力和“流体锤”而打开。

[0216] 当发生脱砂状况时,液压致动阀可以是自行致动的。阀打开以提供用于井眼中载有支撑剂的流体从井眼扫过的路径。浆料以断裂处理速率流动通过端口,通过微型裂缝,并进入地下地层。然后将新的自主射孔枪组件安置在井眼中,向下泵送,并且随后用于重新对问题区域进行射孔。替代地,新的自主射孔枪组件可以在井下泵送到新的关注区域以便沿着新区域形成射孔。

[0217] 一旦新区域被射孔,井就准备好进行下一阶段的压裂处理。这通过向下泵送另一可移除的密封装置并将其安置在液压致动阀上游的阀座中来实现。密封装置的安置将迫使流体进入新的射孔组。

[0218] 可以观察到井眼可以被设计成具有一个以上的阀座。每个阀座位于不同的射孔组上方,或者位于敞开的套筒上方。多个密封装置或塞子可以依次着陆在阀座上,其中每一个都具有逐渐变大的压力额定值。如果需要,多个塞子能够在故障条件下“产生多米诺骨牌效应”。这也会形成大量可用的浆料处置区域,允许将自主射孔枪组件泵送到井眼中以便对顺序区域进行射孔,而不需要用线缆牵引或者用盘管操作。

[0219] 能够看出,本文提供了用于补救脱砂状况的改进方法。尽管显而易见的是本文所述的发明被很好地设计成实现上述的益处和优点,但是应当领会在不脱离本发明的精神的情况下,本发明易于进行修改、变型和变化。

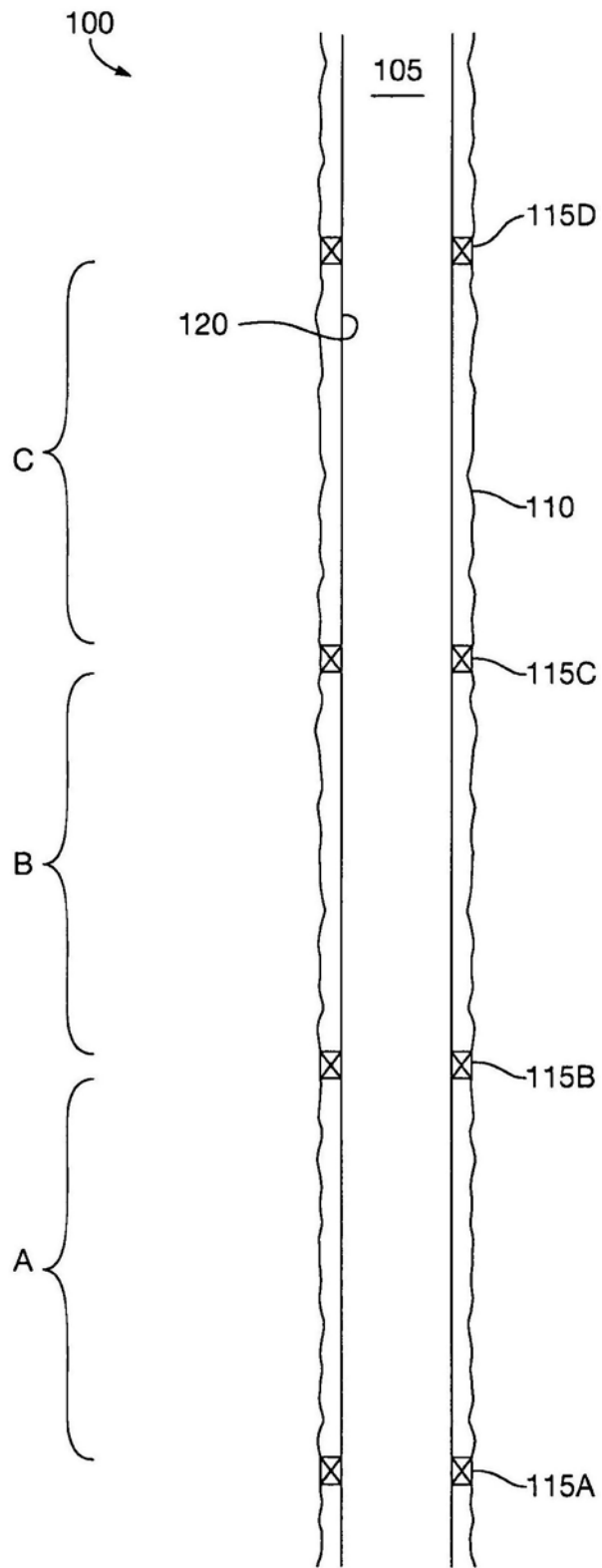


图1A

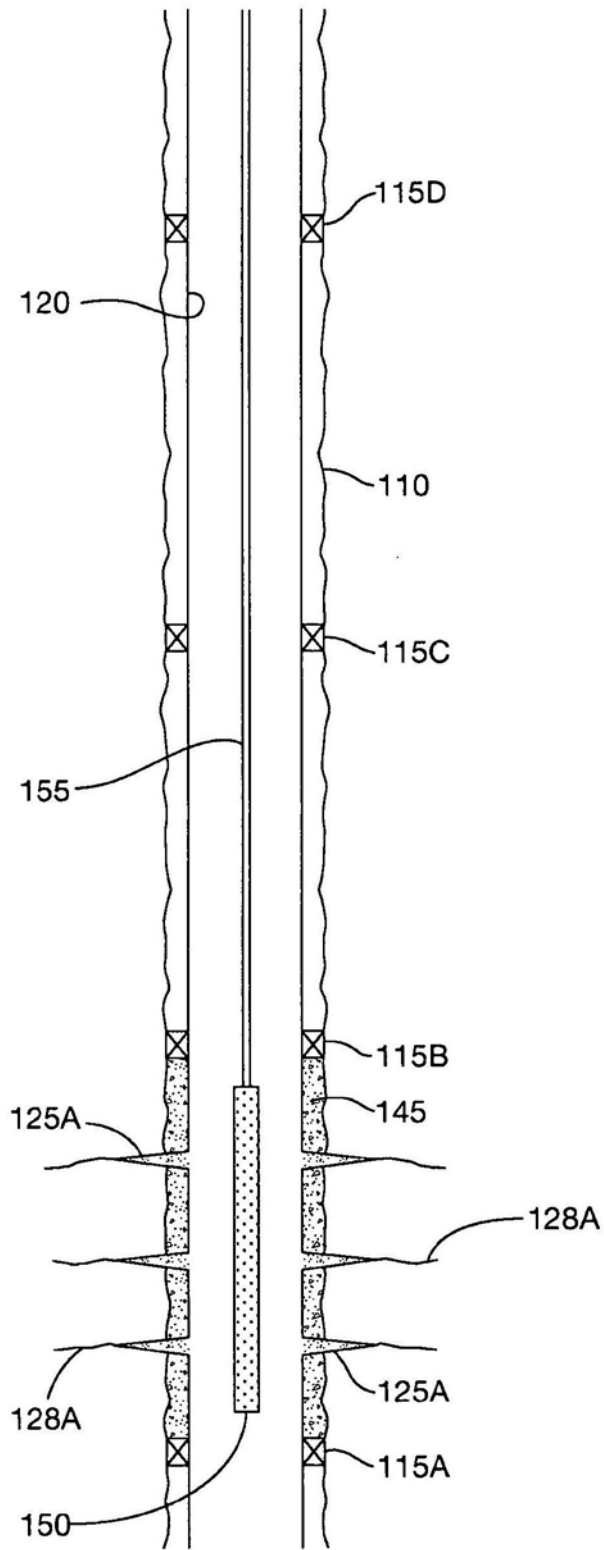


图1B

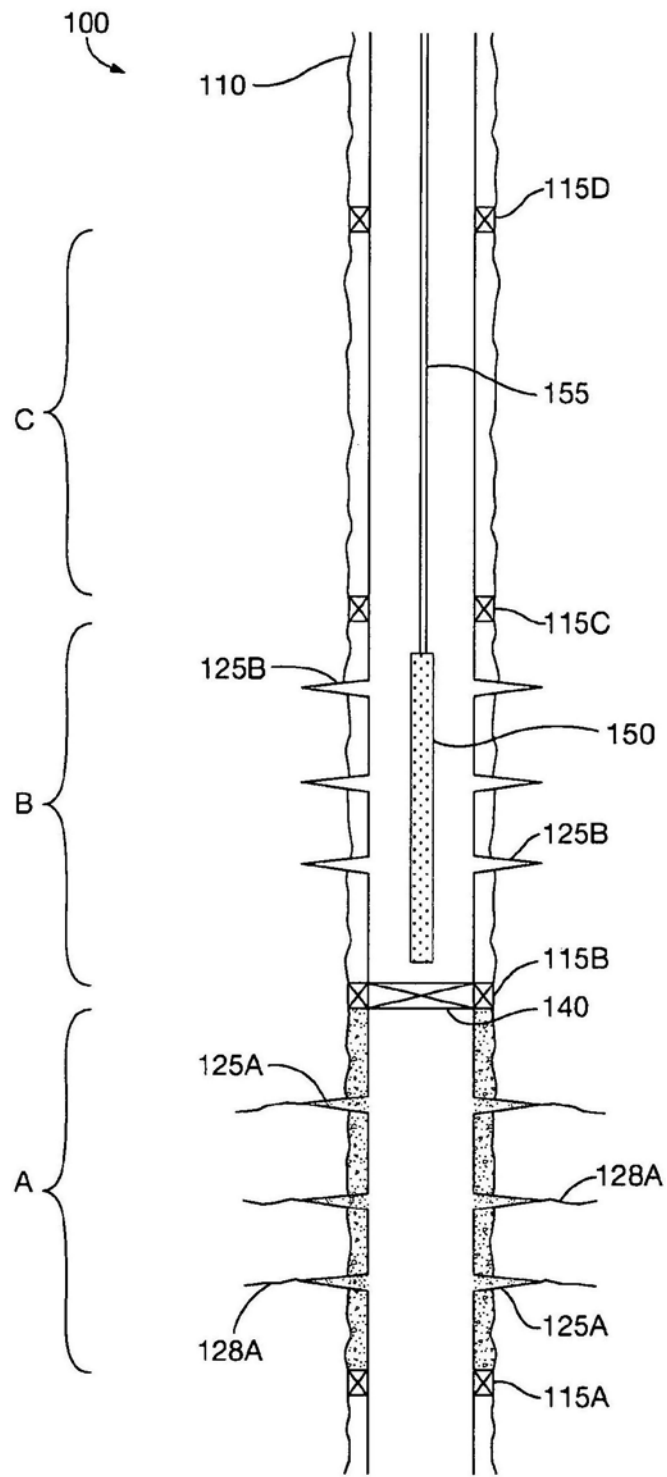


图1C

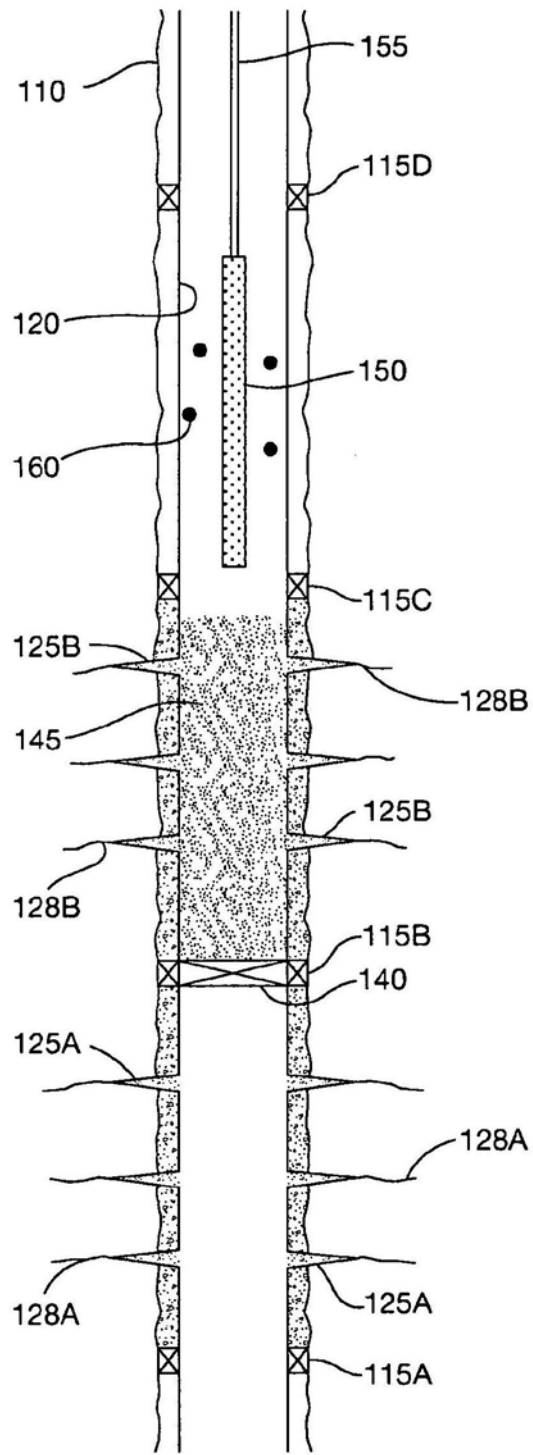


图1D

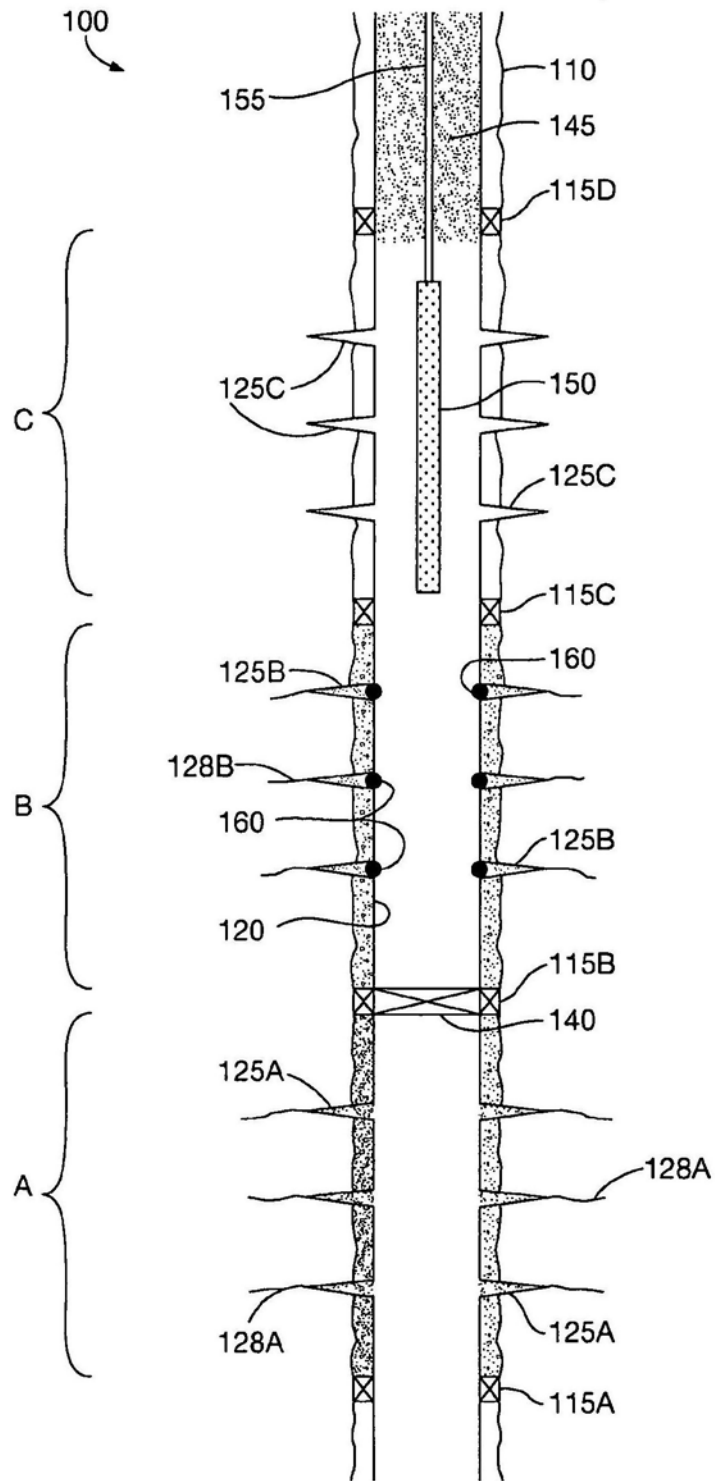


图1E

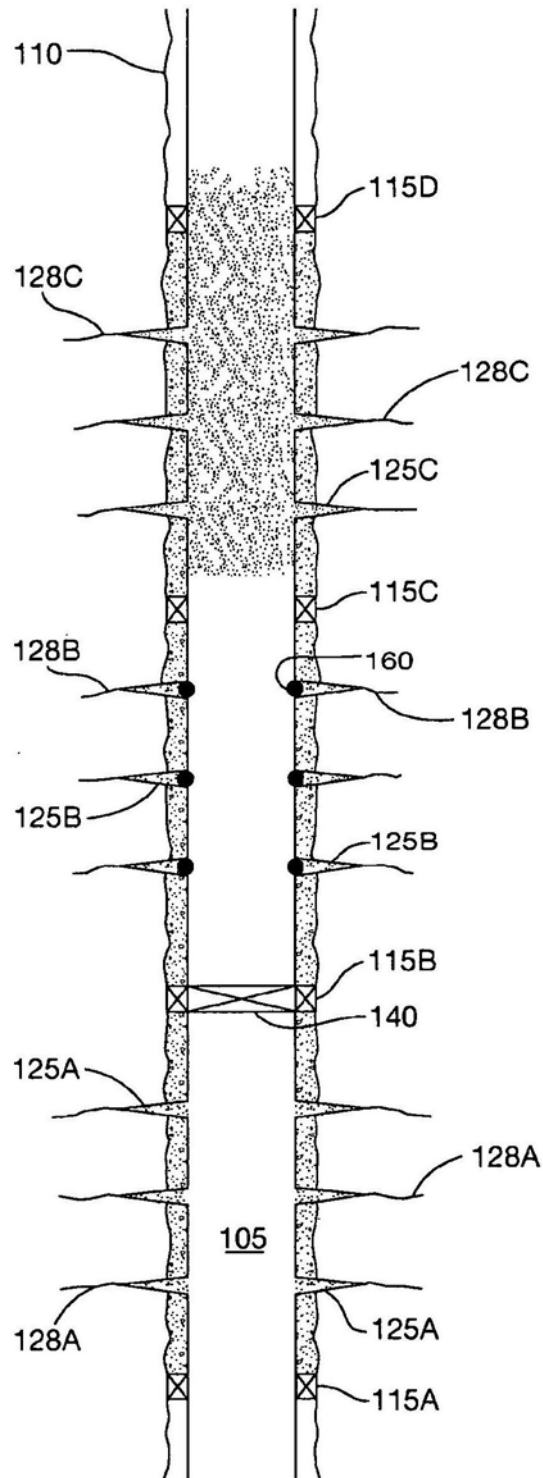


图1F

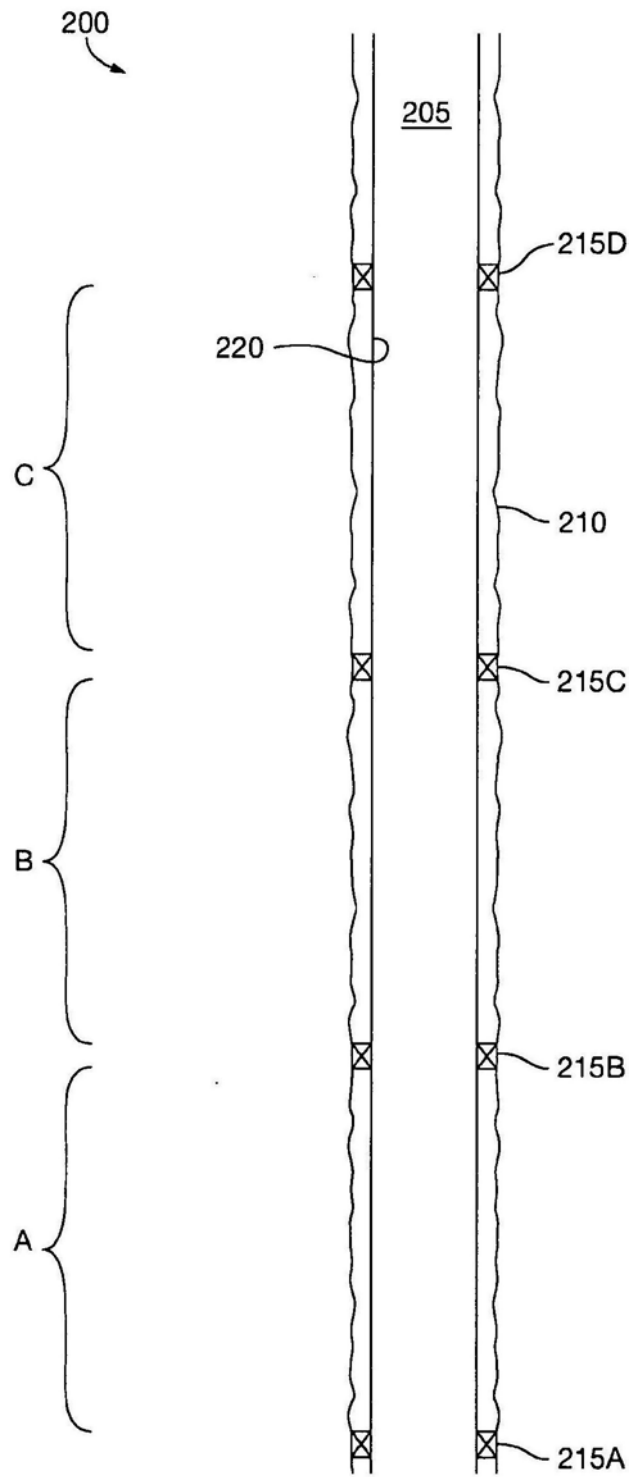


图2A

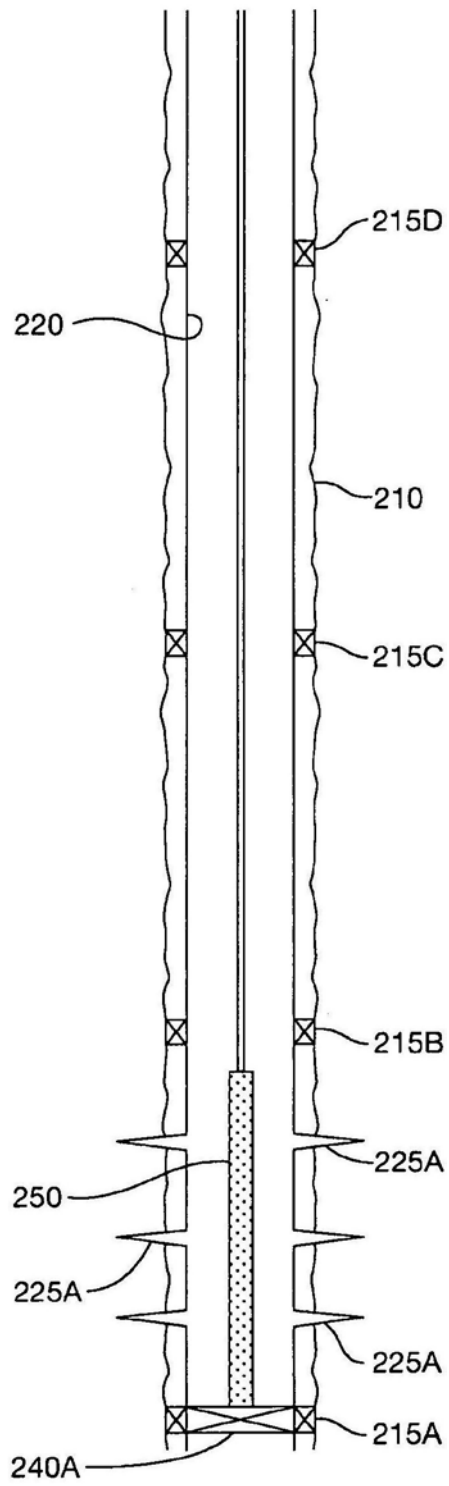


图2B

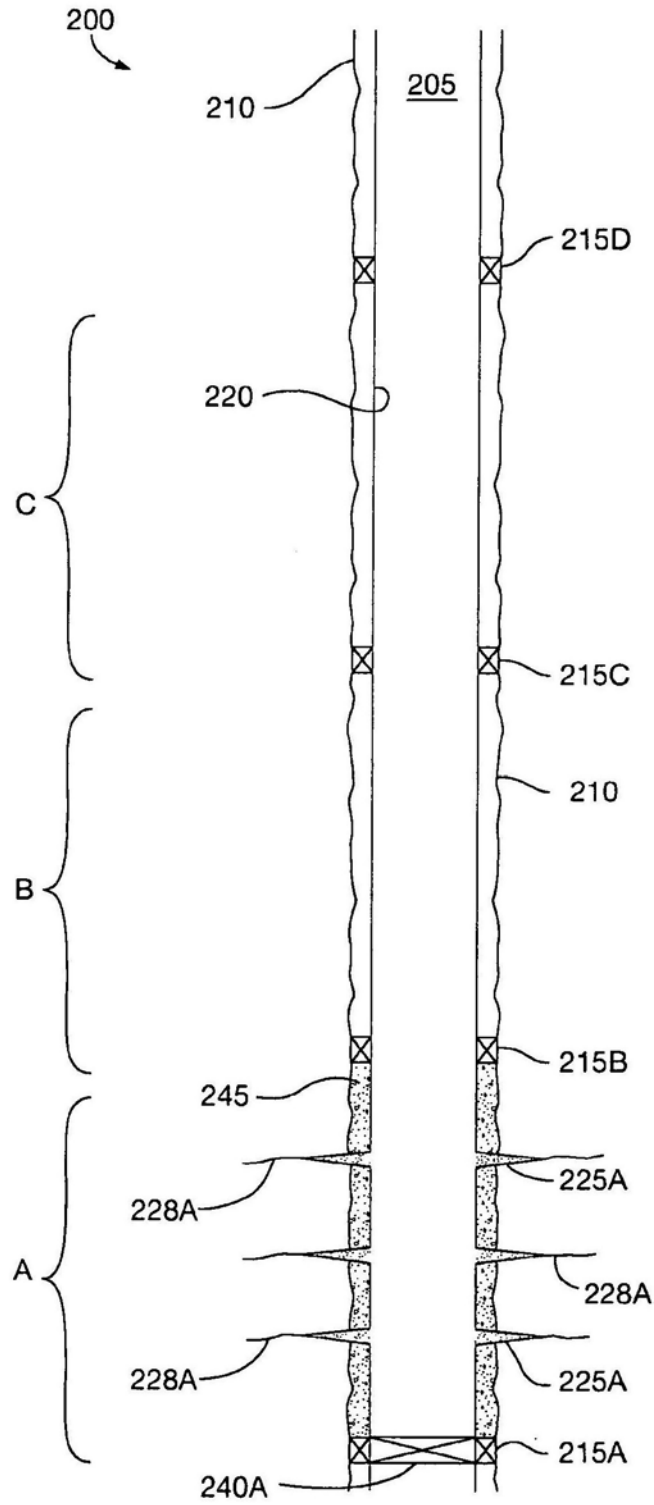


图2C

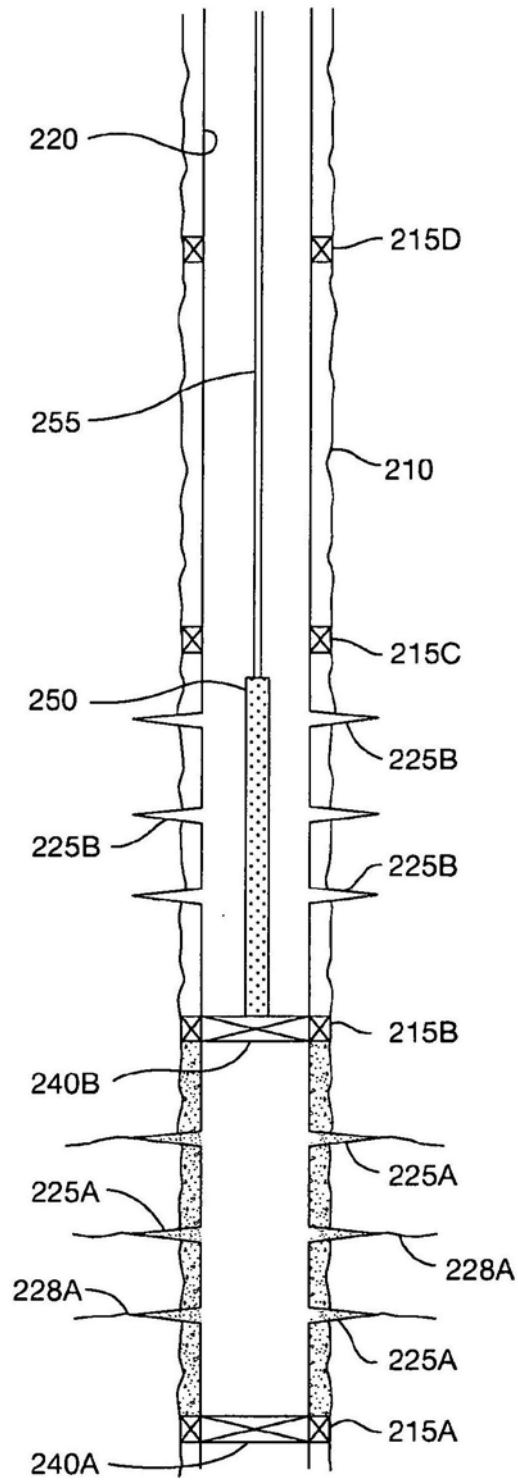


图2D

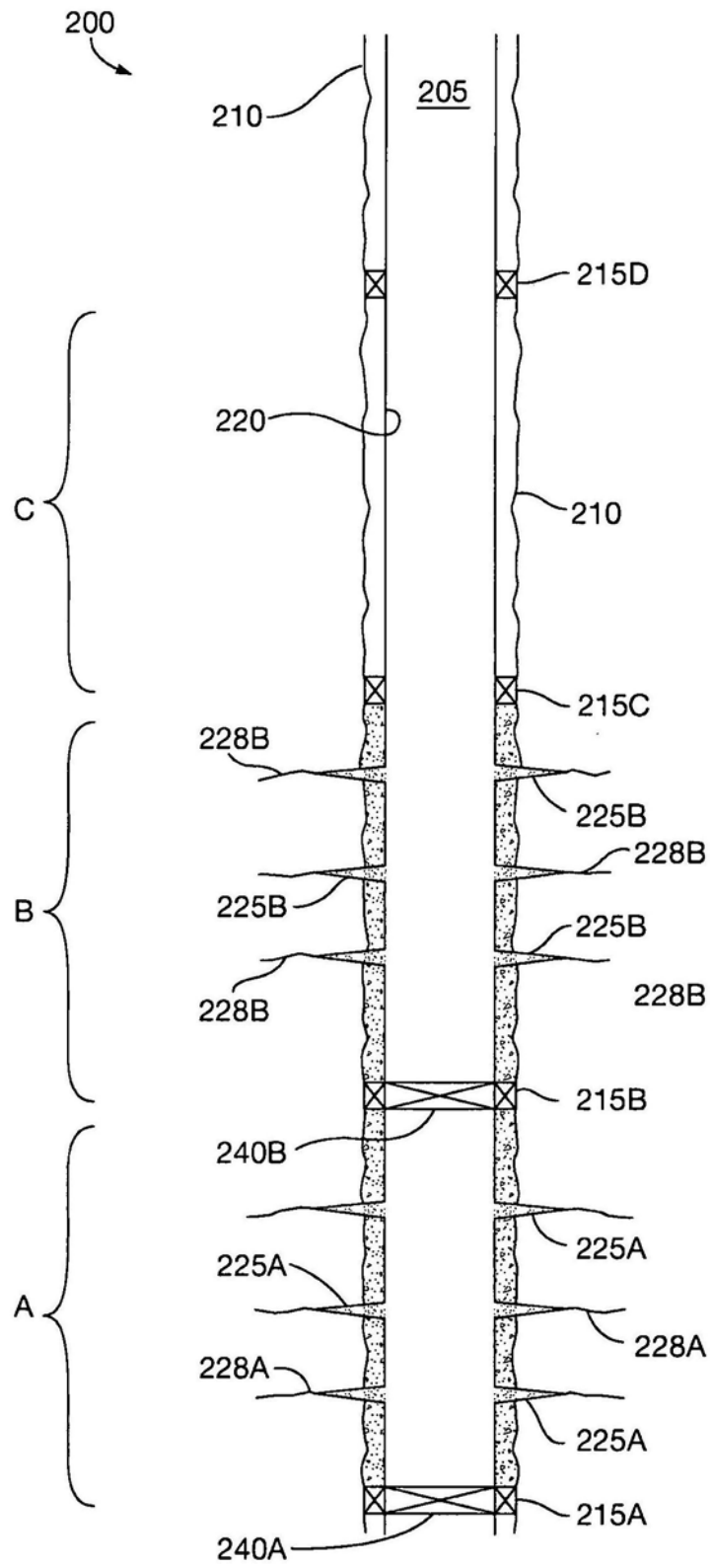


图2E

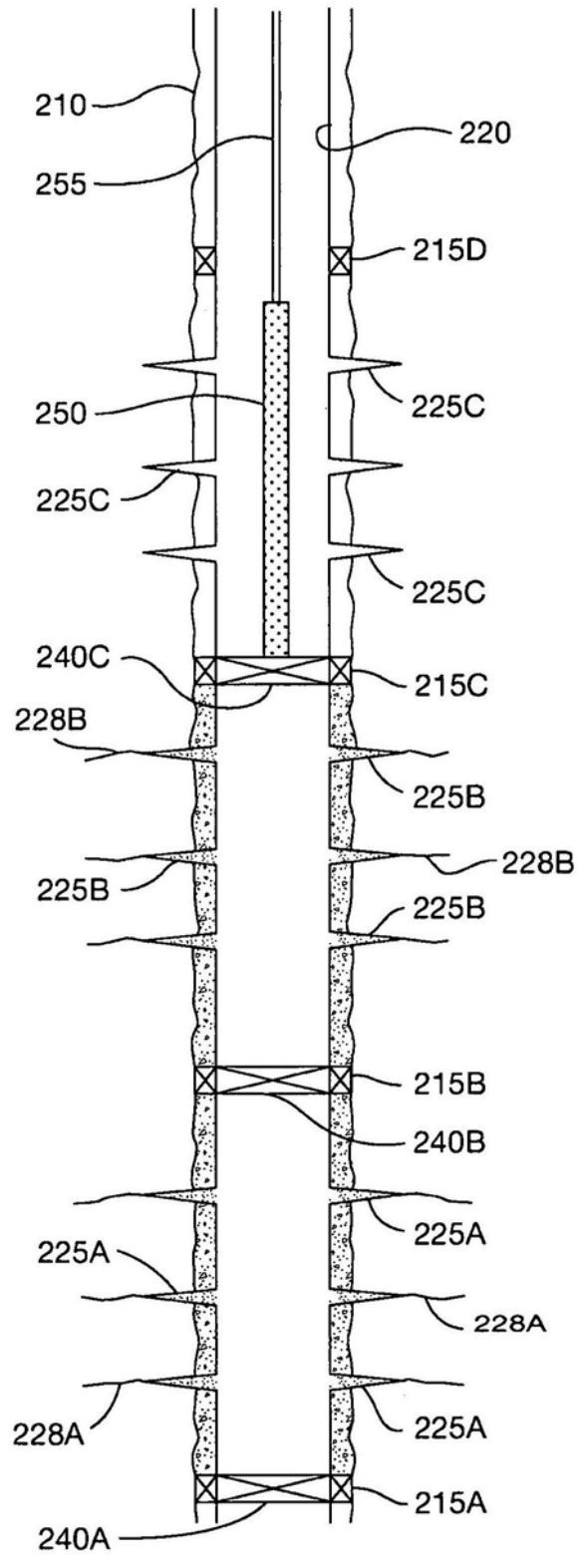


图2F

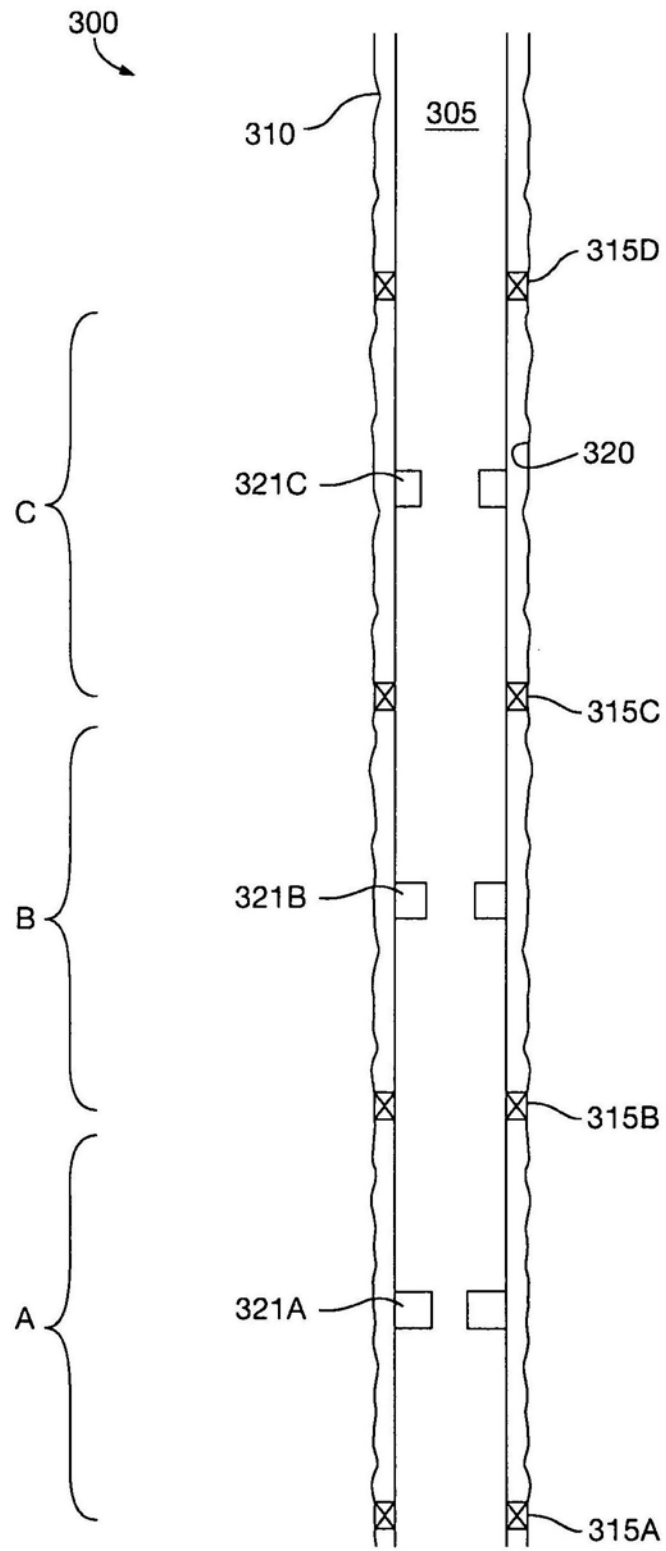


图3A

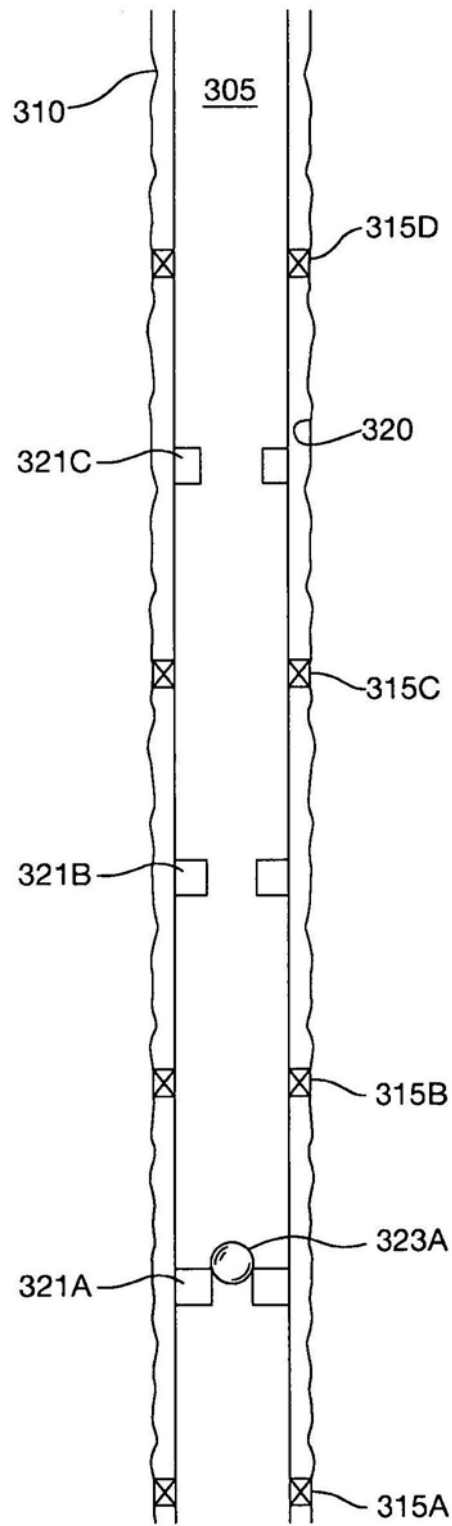


图3B

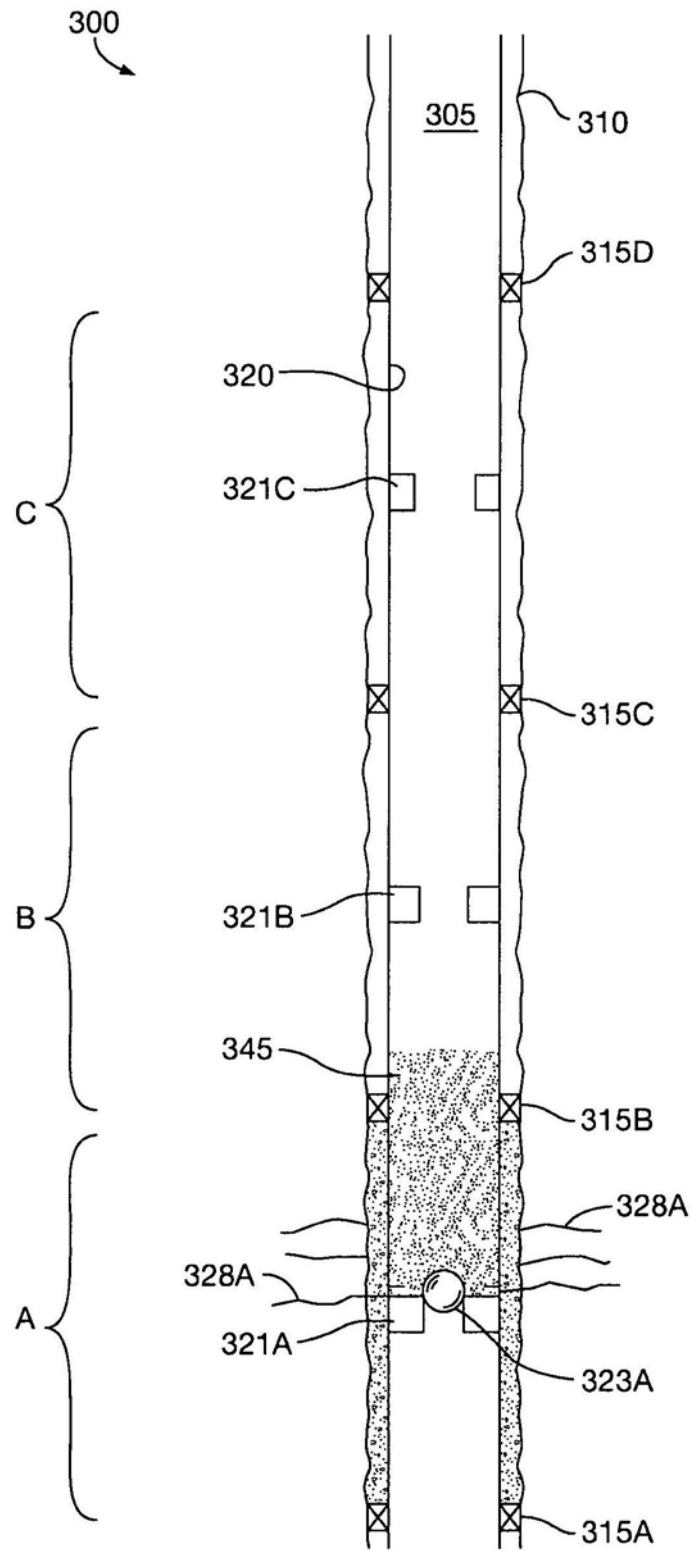


图3C

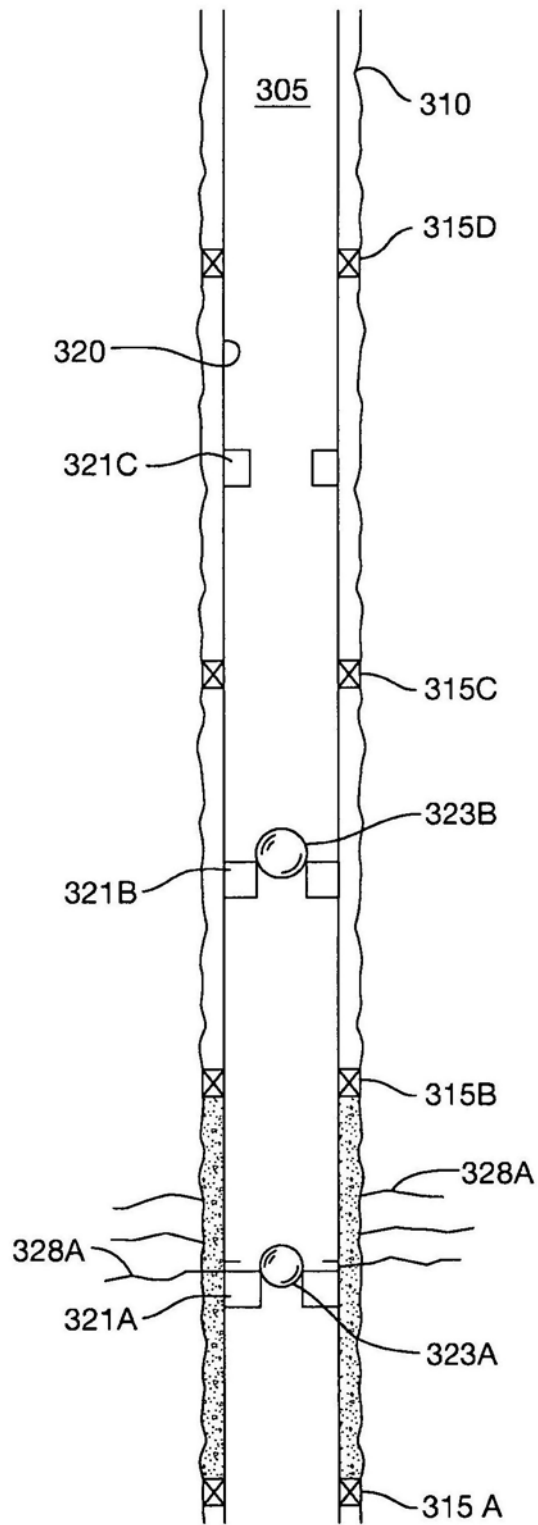


图3D

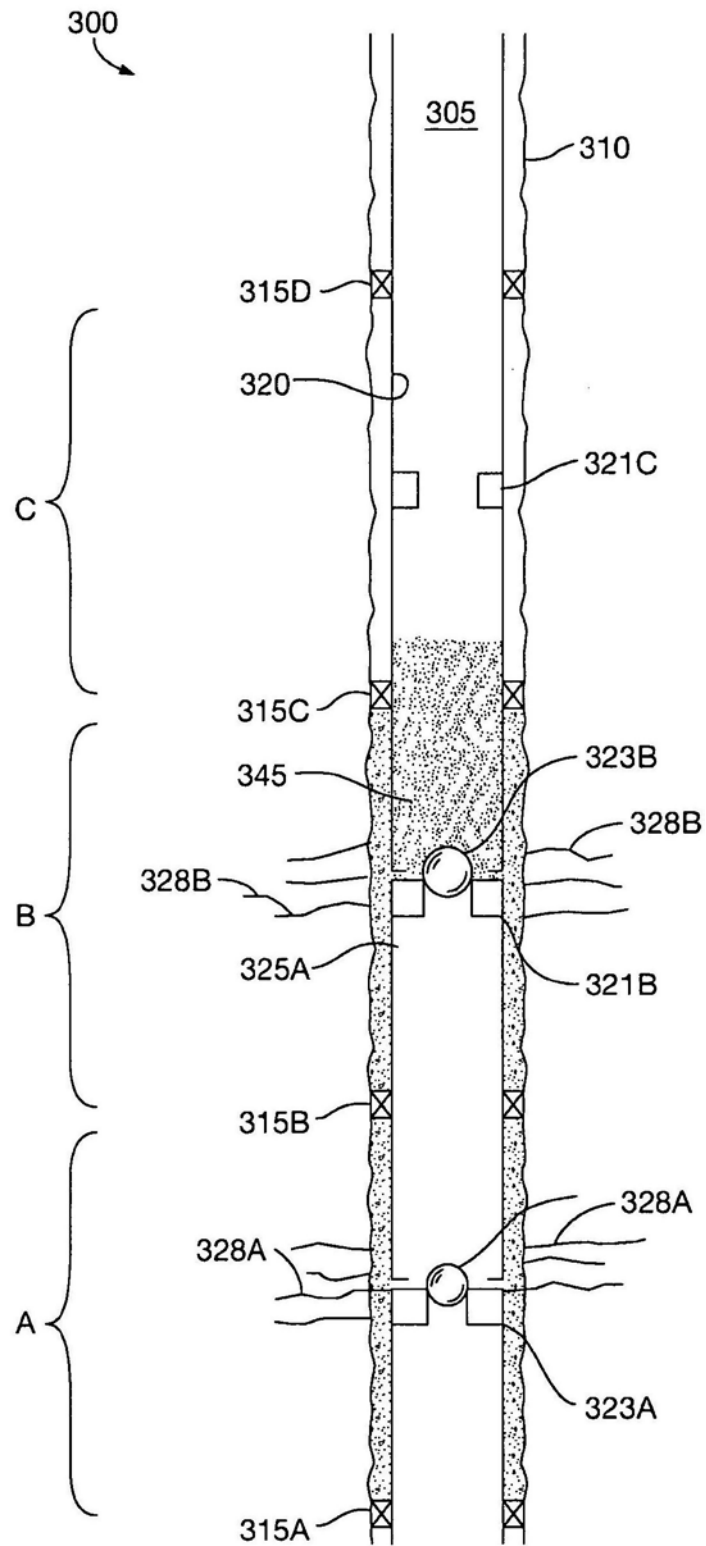


图3E

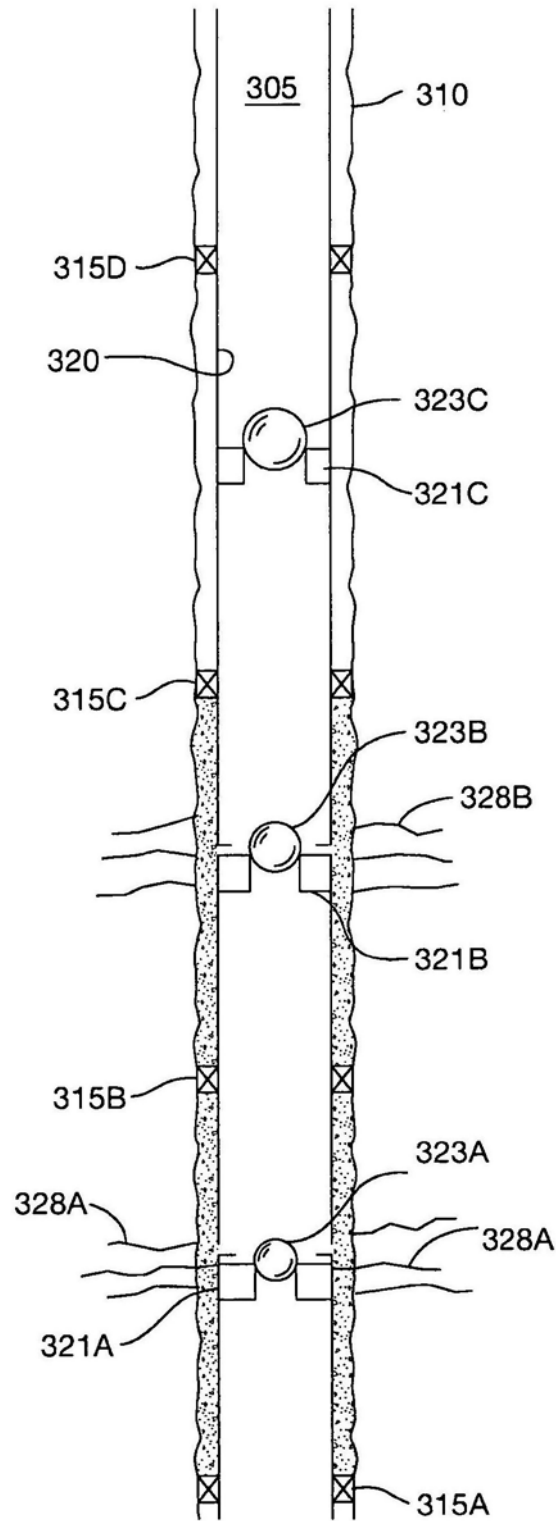


图3F

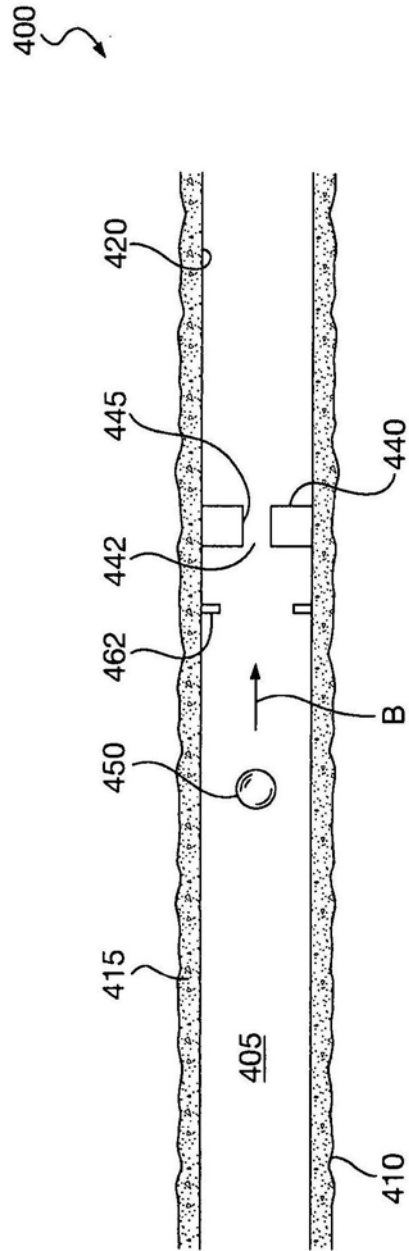


图4A

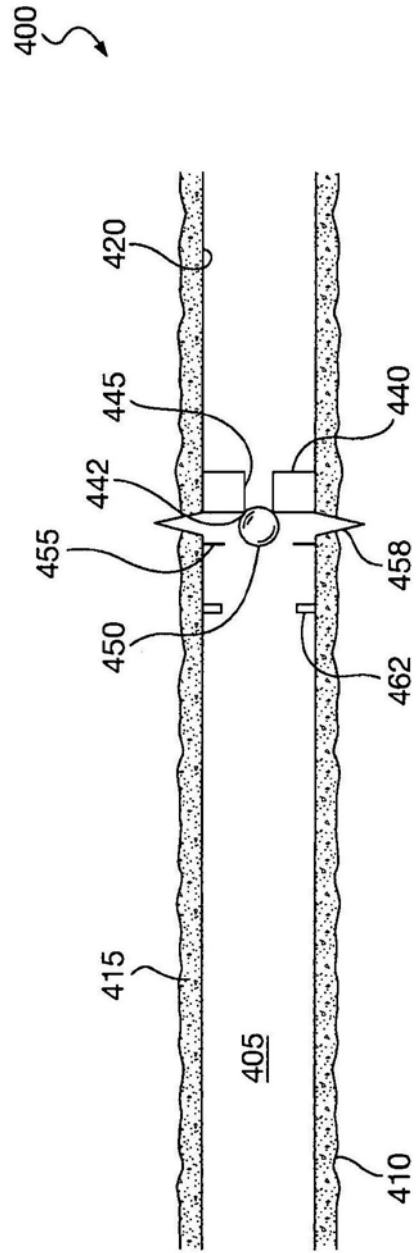


图4B

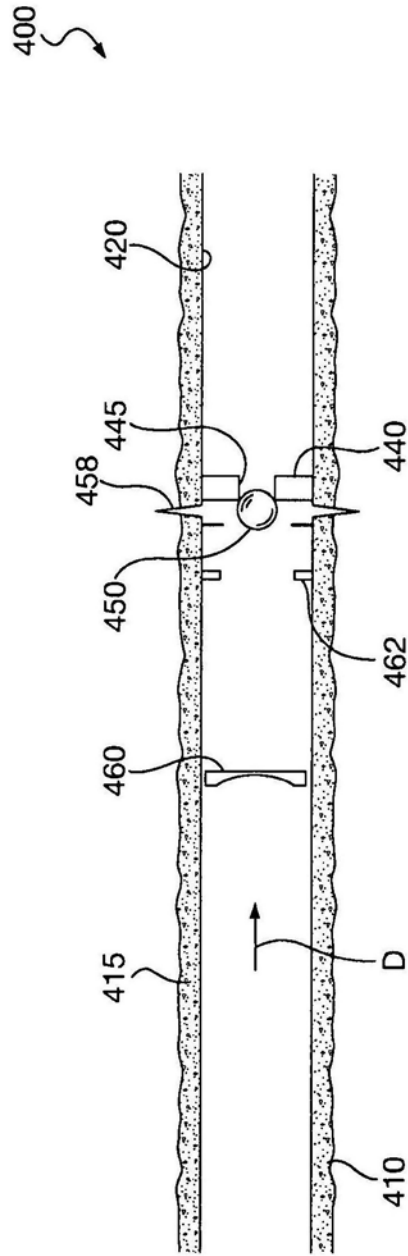


图4C

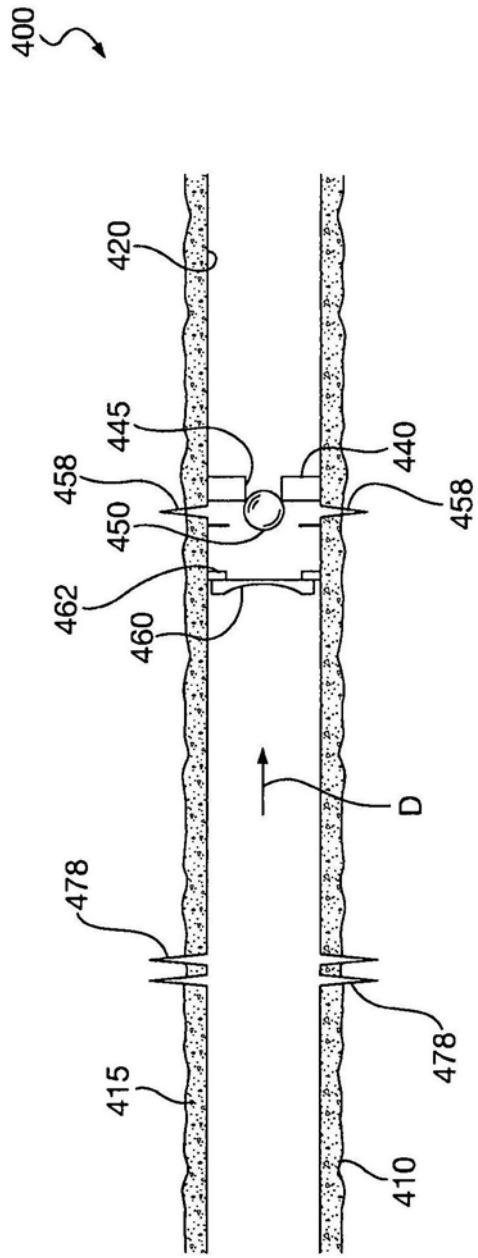


图4D

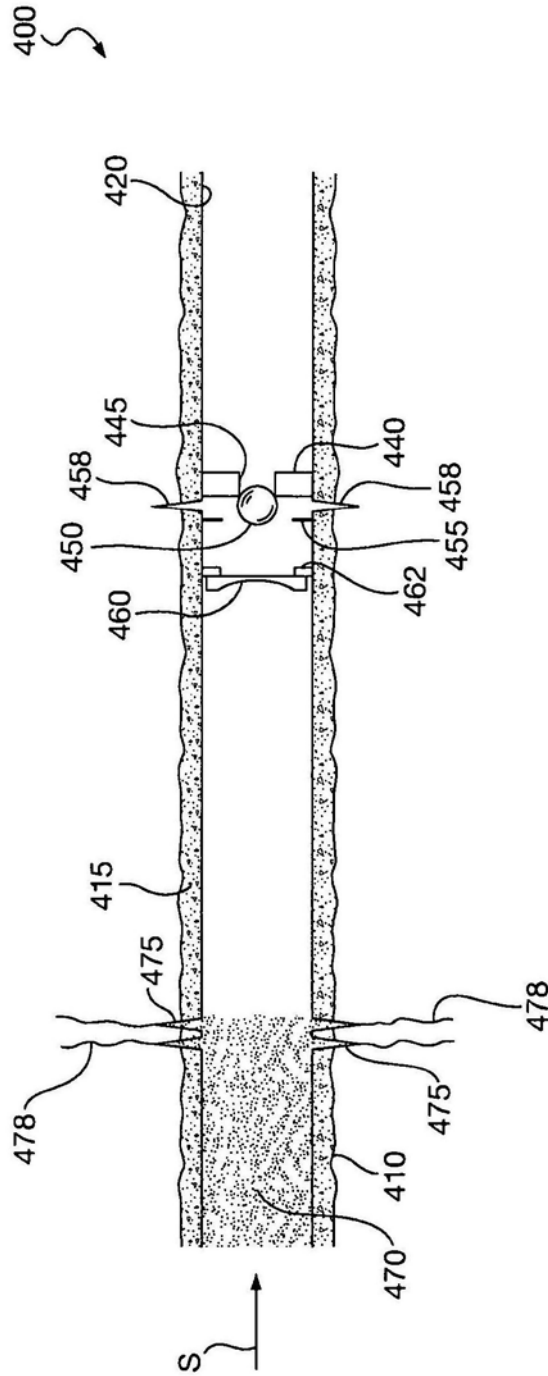


图4E

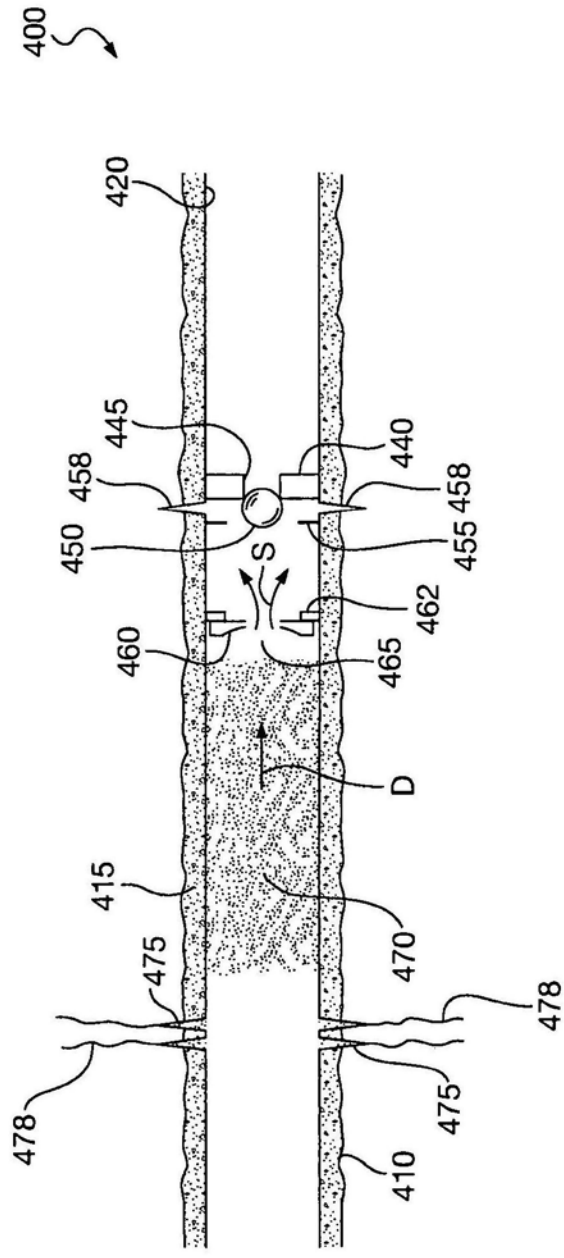


图4F

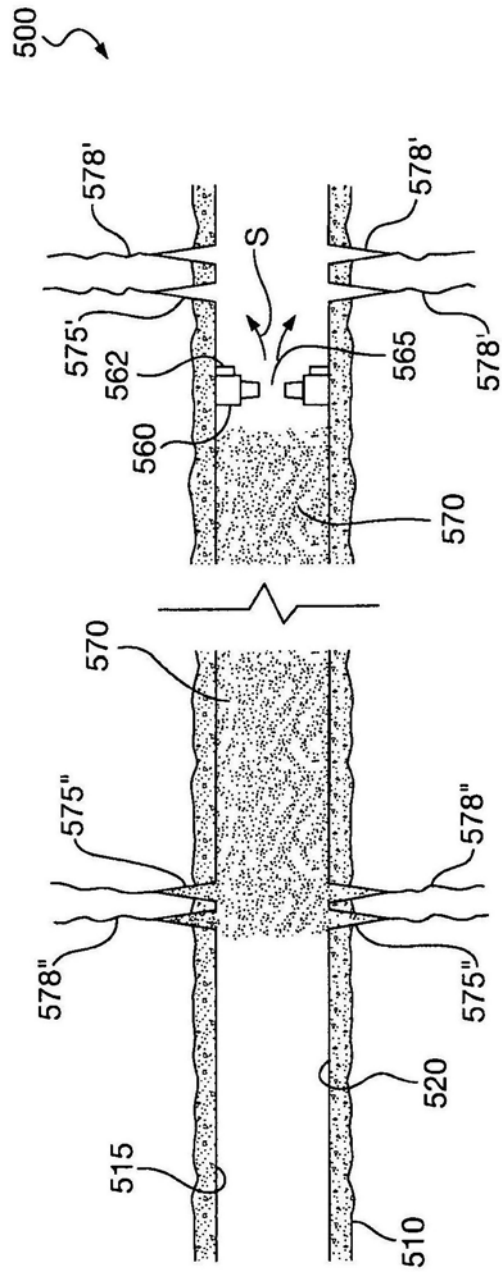


图5B

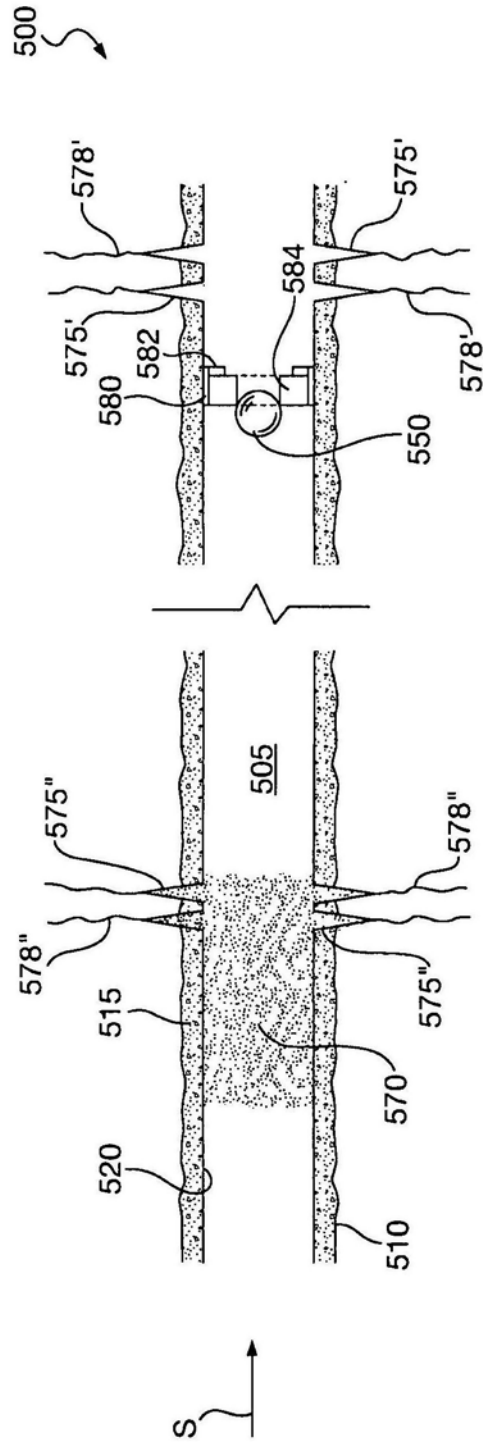


图5C

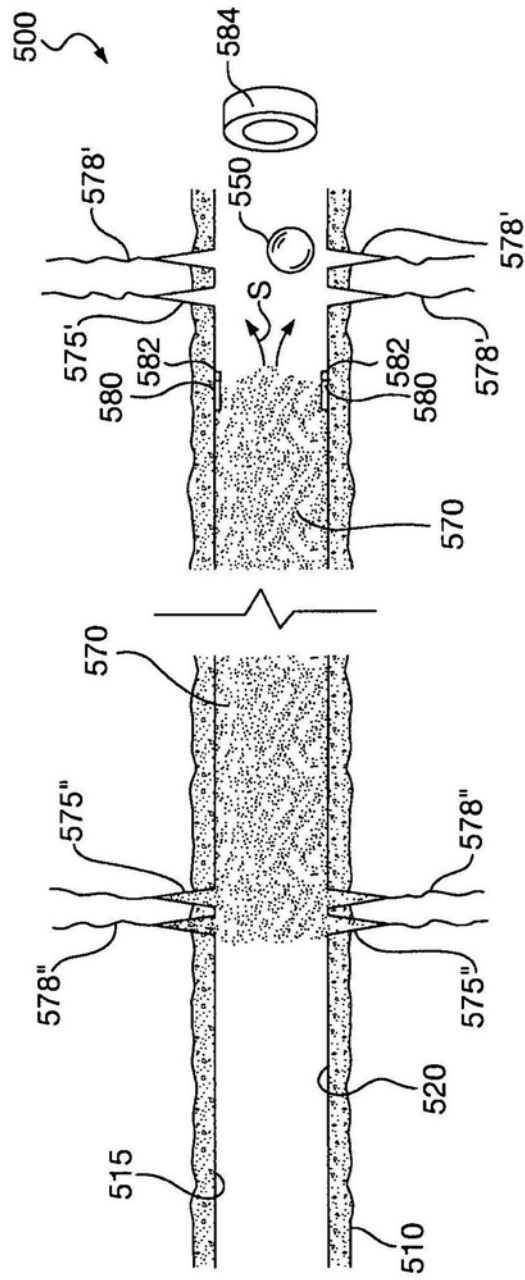


图5D

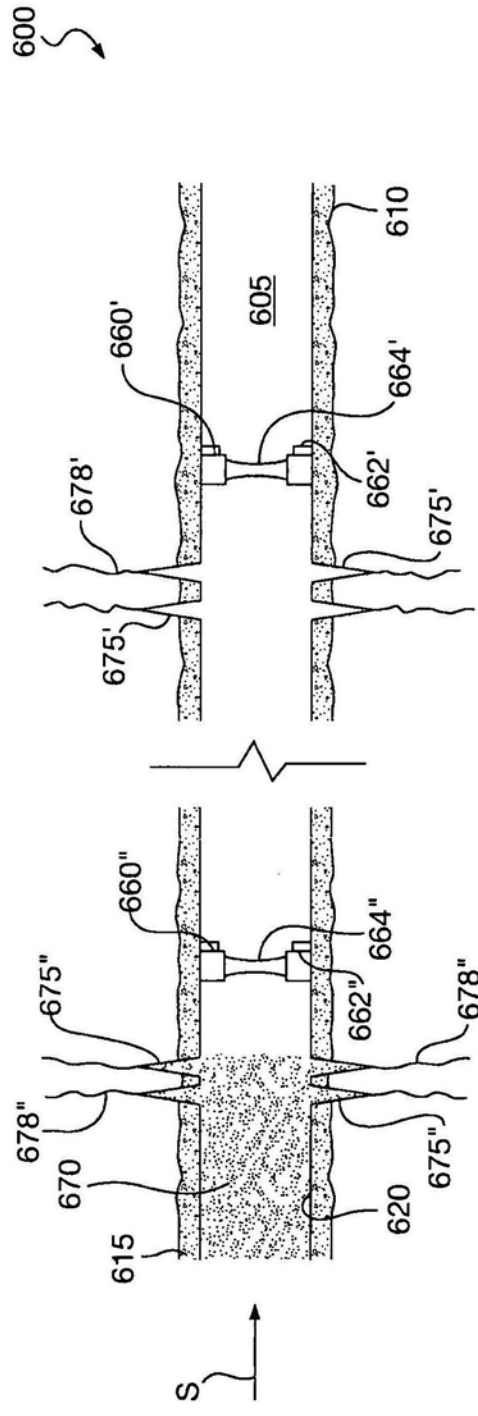


图6A

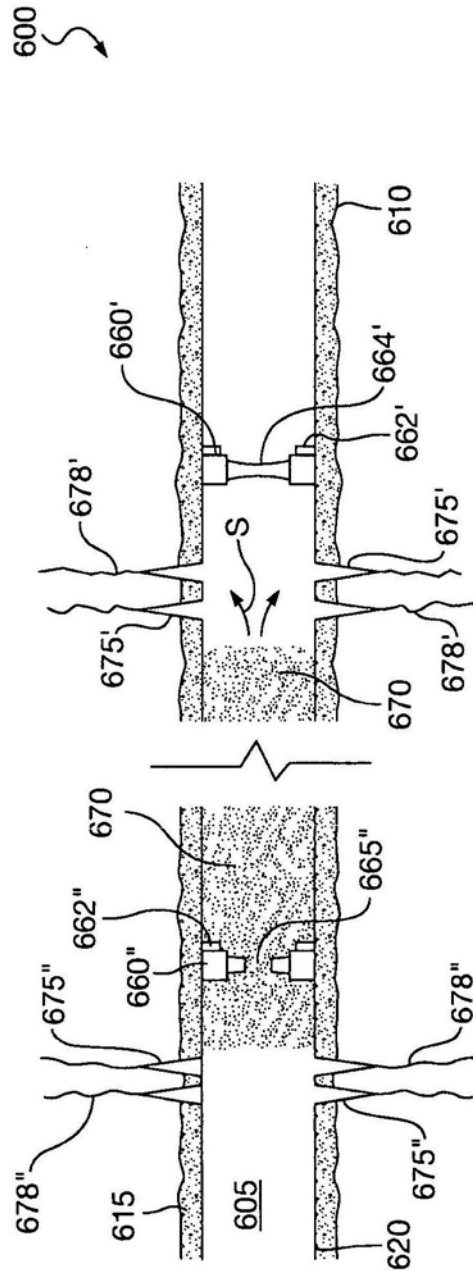


图6B

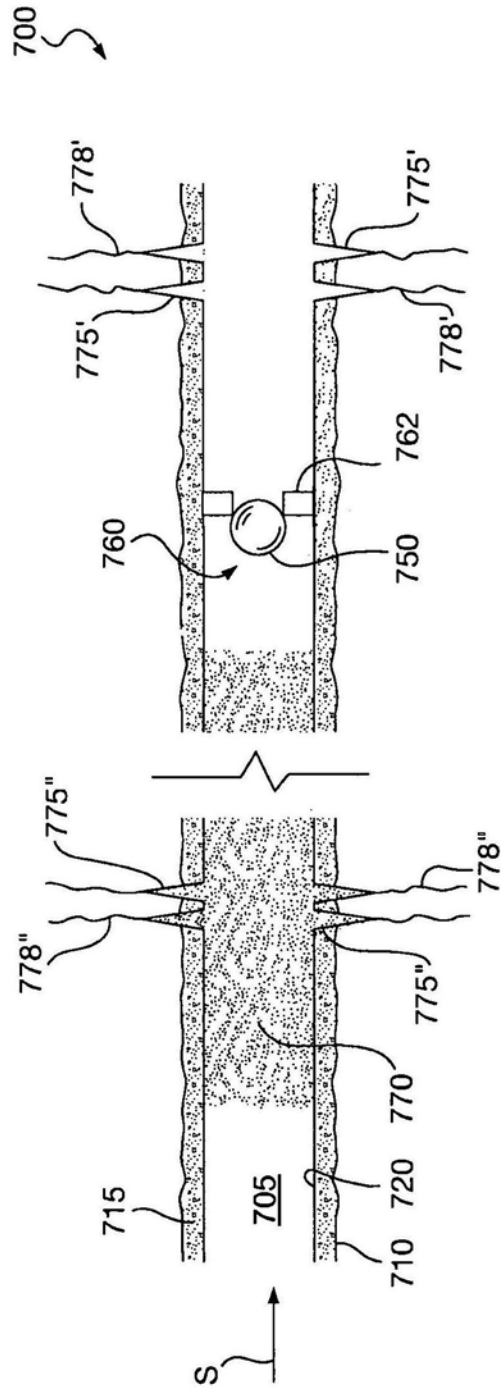


图7A

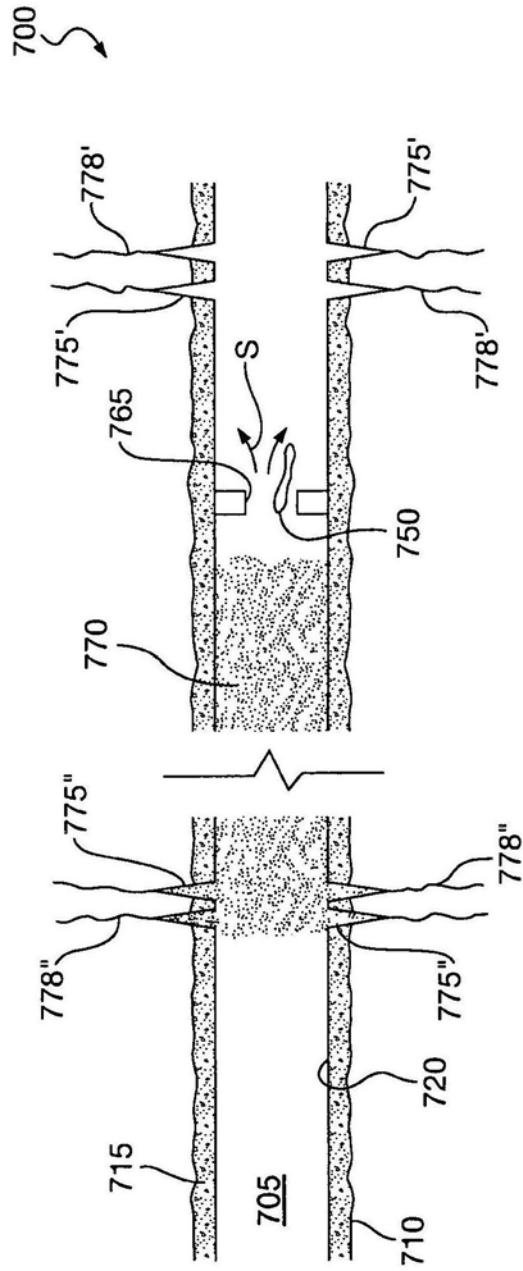


图7B

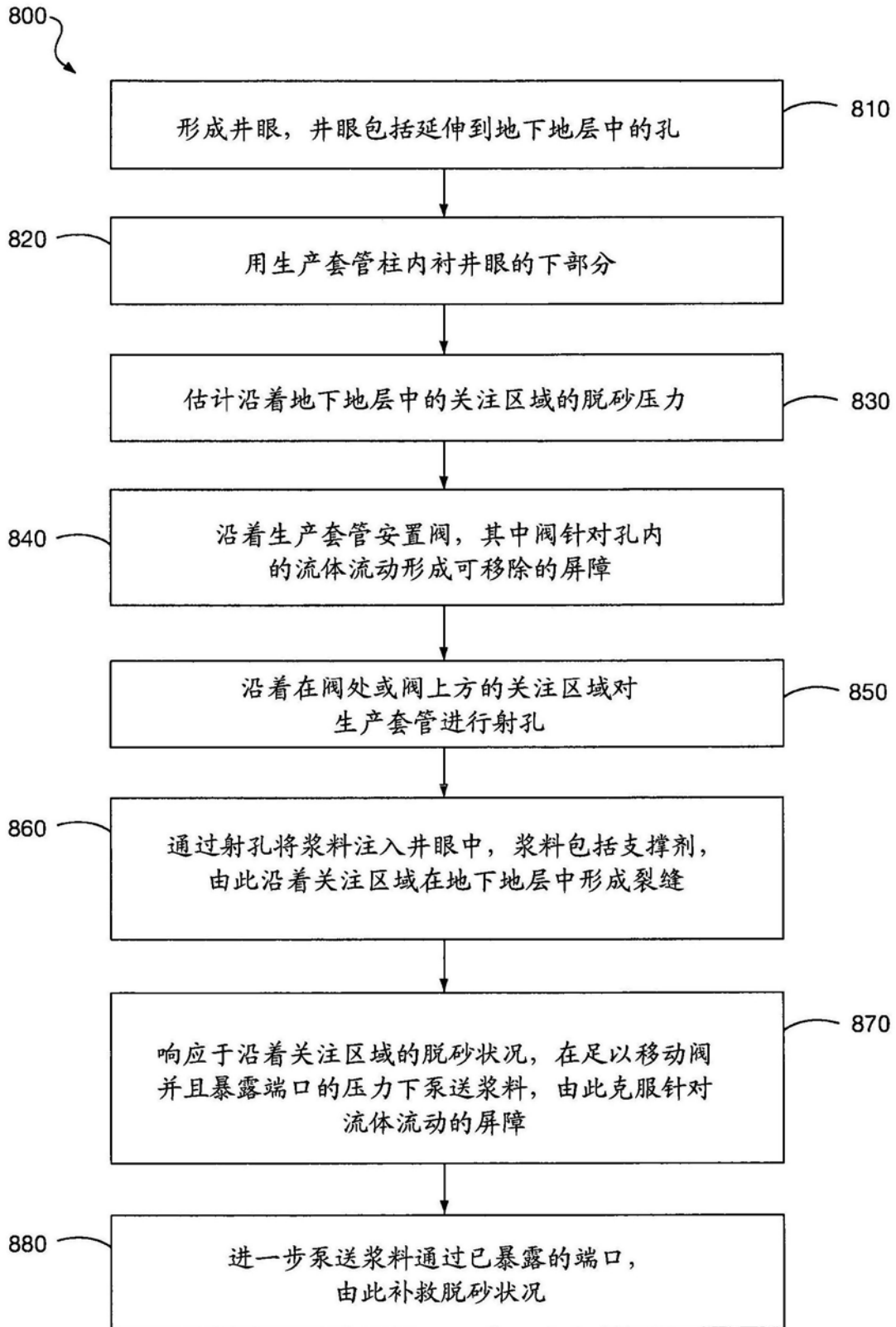


图8