



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103261582 A

(43) 申请公布日 2013. 08. 21

(21) 申请号 201180060699. 5

代理人 赵蓉民 董巍

(22) 申请日 2011. 11. 17

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

E21B 47/092 (2012. 01)

61/424, 285 2010. 12. 17 US

E21B 23/00 (2006. 01)

E21B 41/00 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

E21B 43/116 (2006. 01)

2013. 06. 17

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/061221 2011. 11. 17

(87) PCT申请的公布数据

W02012/082302 EN 2012. 06. 21

(71) 申请人 埃克森美孚上游研究公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 K·库马兰 N·A·苏博瑞曼雅

P·B·昂切夫 R·C·托尔曼

R·M·安杰利斯博萨

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

公司 11245

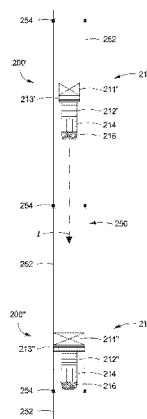
权利要求书6页 说明书32页 附图37页

(54) 发明名称

用于自主井下工具的自动控制和定位的方法

(57) 摘要

用于对在井筒中的井下工具进行致动的方法和装置,其包括:从该井筒获取 CCL 数据集或测井记录,这个 CCL 数据集或测井记录使已记录的磁信号与测量过的深度相关联;并且选择在该井筒中用于对井筒装置进行致动的位置。然后将该 CCL 测井记录下载到自主工具中。该工具被编程为作为时间的函数感测接箍,由此提供第二 CCL 测井记录。该自主工具还使已感测的接箍与来自该第一 CCL 测井记录的物理签名相匹配,并且基于该第一和第二测井记录的相关性在选定位置使该井筒装置自致动。



1. 一种对在井筒中的井下工具进行致动的方法,该井筒具有套管接箍,这些套管接箍形成该井筒的物理签名,该方法包括:

从该井筒获取 CCL 数据集,该 CCL 数据集使已记录的磁信号与测量的深度相关联,由此形成用于该井筒的第一 CCL 测井记录;

选择在该井筒中用于对井筒装置进行致动的位置;

将该第一 CCL 测井记录下载到被机载在该井下工具上的处理器中;

将该井下工具部署到该井筒中以使该井下工具穿行套管接箍,该井筒工具包括该处理器、套管接箍定位器以及可致动井筒装置;

其中该处理器被编程为:

随着该井下工具穿行所述套管接箍,连续地记录磁信号,从而形成第二 CCL 测井记录;

通过应用移动窗口式统计分析而对该第二 CCL 测井记录的已记录磁信号进行变换;

在部署该井下工具的过程中递增地比较变换后的第二 CCL 测井记录与该第一 CCL 测井记录以便关联表示套管接箍位置的值;

对在该井筒中的所述选定位置进行识别;并且

在该处理器已经识别出所述选定位置时向所述可致动井筒装置发送致动信号;并且

发送该致动信号以对该井下工具进行致动。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中:

该方法进一步包括通过应用移动窗口式统计分析而对该第一 CCL 测井记录的该 CCL 数据集进行变换;

将该第一 CCL 测井记录下载到处理器中包括将变换后的第一 CCL 测井记录下载到被机载在该井下工具上的所述处理器中;并且

该处理器递增地比较所述变换后的第二 CCL 测井记录与所述变换后的第一 CCL 测井记录以便关联表示套管接箍位置的值。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其中:

该第一 CCL 测井记录表示深度序列;

该第二 CCL 测井记录表示时间序列;并且

递增地比较所述变换后的第二 CCL 测井记录与所述第一 CCL 测井记录使用接箍匹配模式算法来比较并且关联表示套管接箍位置的多个单个峰值。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其中应用移动窗口式统计分析包括:

限定用于成组磁信号值的模式窗口大小(W');并且

随时间对所述磁信号值的移动平均值 $m(t+1)$ 进行计算。

5. 根据权利要求 4 所述的方法,其中:

该移动平均值 $m(t+1)$ 是向量形式的并且代表一个模式窗口(W)的磁信号值的平均值;并且

应用移动窗口式统计分析进一步包括:

限定用于该窗口式统计分析的存储器参数 μ ;并且

随时间对所述磁信号值的移动协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$ 进行计算。

6. 根据权利要求 5 所述的方法,其中:

该移动平均值 $m(t+1)$ 是一个模式窗口(W)的磁信号值的指数加权的移动平均;并且

对所述磁信号值的移动平均值 $m(t+1)$ 进行计算是根据以下等式来实现的：

$$m(t+1) = \mu y(t+1) + (1-\mu)m(t)$$

其中 $y(t+1)$ 是在一个最近的模式窗口 $(W+1)$ 中的多个磁信号值的集合，并且 $m(t)$ 是用于前一模式窗口 (W) 的多个磁信号值的平均值。

7. 根据权利要求 6 所述的方法，其中，对所述磁信号值的移动协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$ 进行计算包括：

对在一个最近的模式窗口 $(W+1)$ 中的所述磁信号值的指数加权的移动二阶矩 $A(t+1)$ 进行计算；并且

基于所述指数加权的二阶矩 $A(t+1)$ 对所述移动协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$ 进行计算。

8. 根据权利要求 7 所述的方法，进一步包括：

当部署该井下工具时限定 $m(W) = y(W)$ ，

其中 $m(W)$ 是用于第一模式窗口 (W) 的平均值 $m(t)$ ，并且

$y(W)$ 是 $m(W)$ 的转置；

并且

当部署该井下工具时限定 $y(W) = [x(1), x(2), \dots, x(W)]^T$ ，

其中 $x(1), x(2), \dots, x(W)$ 代表在一个模式窗口 (W) 中的多个磁信号值。

9. 根据权利要求 7 所述的方法，其中：

对指数加权的二阶矩 $A(t+1)$ 进行计算是根据以下等式来实现的：

$$A(t+1) = \mu y(t+1) \times [y(t+1)]^T + (1-\mu)A(t)$$

并且

对该移动协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$ 进行计算是根据以下等式来实现的：

$$\Sigma(t+1) = A(t+1) - m(t+1) \times [m(t+1)]^T$$

10. 根据权利要求 9 所述的方法，其中，应用移动窗口式统计分析进一步包括：

当部署该井下工具时，计算初始留数 $R(t)$ ；

随时间计算移动留数 $R(t+1)$ ；并且

基于该移动留数 $R(t+1)$ 计算移动阈值 $T(t+1)$ 。

11. 根据权利要求 11 所述的方法，其中：

只有在 $t > 2 \times W'$ 的情况下对所述初始留数 $R(t)$ 进行计算

其中 t 表示已经累积获得的磁信号的数目，并且

W' 表示每个模式窗口 (W) 的样本数目或窗口大小；

并且

对该初始留数 $R(t)$ 进行计算是根据以下等式来实现的：

$$R(t) = [y(t) - m(t-1)]^T \times [\Sigma(t-1)]^{-1} \times [y(t) - m(t-1)]$$

其中 $R(t)$ 是一个单个的无量纲的数

$y(t)$ 是代表用于当前模式窗口 (W) 的多个磁信号值的集合的向量，并且

$m(t-1)$ 是代表前一模式窗口 (W) 的多个磁信号值的集合的平均值的向量。

12. 根据权利要求 11 所述的方法，其中，对移动阈值 $T(t+1)$ 进行计算包括：

限定用于阈值计算的存储器参数 n ；并且

限定标准偏差因子 (STD_Factor)。

13. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中:

只有在 $t > 2 \times W'$ 的情况下对该移动阈值 $T(t+1)$ 进行计算; 并且

应用移动窗口式统计分析进一步包括在以下条件成立时将时间 (t) 标记为接箍位置的潜在开始:

$$t > \frac{W}{\mu},$$

$R(t-1) < T(t)$, 并且

$R(t) \geq T(t)$

其中 $R(t)$ 是用于当前模式窗口的一个单个无量纲数,

$R(t-1)$ 是用于前一模式窗口 (W) 的留数,

W 是模式窗口数, 并且

μ 是用于该窗口式统计分析的存储器参数。

14. 根据权利要求 13 所述的方法, 进一步包括:

当部署该井下工具时限定 $MR(2*W'+1) = R(2*W'+1)$,

其中 R 表示所述留数,

MR 表示所述移动留数, 并且

$(2*W'+1)$ 指示出在 $t > 2*W'$ 时的计算,

当部署该井下工具时限定 $SR(2*W'+1) = [R(2*W'+1)]^2$,

其中 SR 代表留数二阶矩;

当部署该井下工具时限定 $STDR(2*W'+1) = 0$,

其中 $STDR$ 代表该留数的标准偏差,

并且

当部署该井下工具时限定 $T(2*W'+1) = 0$ 。

15. 根据权利要求 14 所述的方法, 其中:

对该移动留数 (MR) 进行计算是根据以下等式来实现的:

$$MR(t+1) = \mu R(t+1) + (1 - \mu) MR(t)$$

其中 $MR(t)$ 是前一模式窗口的移动留数, 并且

$MR(t+1)$ 是当前模式窗口的移动留数,

对该留数二阶矩 (SR) 进行计算是根据以下等式来实现的:

$$SR(t+1) = \mu [R(t+1)]^2 + (1 - \mu) SR(t)$$

其中 $SR(t)$ 是所述前一模式窗口的所述留数二阶矩, 并且

$SR(t+1)$ 是所述当前模式窗口的所述留数二阶矩,

对该留数的标准偏差 $(STDR)$ 进行计算是根据以下等式来实现的:

$$STDR(t+1) = \sqrt{SR(t+1) - [MR(t+1)]^2}$$

其中 $STDR(t+1)$ 是所述当前模式窗口的留数的标准偏差,

并且

对该移动阈值 $T(t+1)$ 进行计算是根据以下等式来实现的:

$$T(t+1) = MR(t+1) + STD_Factor \times STDR(t+1)。$$

16. 根据权利要求 3 所述的方法,其中,所述接箍匹配模式算法包括:

从该第一 CCL 测井记录针对深度以及从所述变换后的第二 CCL 测井记录针对时间建立基准参考;

估算该自主工具的初始速度 v_1 ;

从最后确认的接箍匹配更新接箍匹配索引,关于深度被索引为 d_k ,并且关于时间被索引为 t_1 ;

使用收敛的迭代过程来确定套管接箍的下一匹配;

基于最佳计算的匹配来更新该接箍匹配索引;并且

重复所述迭代过程。

17. 根据权利要求 16 所述的方法,其中,估算该自主工具的初始速度 v_1 包括:

假定第一深度 d_1 与第一时间 t_1 相匹配;

假定第二深度 d_2 与第二时间 t_2 相匹配;并且

使用以下等式来计算所估算的初始速度:

$$v_1 = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}。$$

18. 根据权利要求 16 所述的方法,其中,所述收敛的迭代过程包括以下步骤:

(1) 如果 $v = \left(\frac{d_{k+1} - d_k}{v_{l+1} - v_l} \right)$ 满足 $(1 - e)u < v < (1 + e)u$ 的话,使 d_{k+1} 与 t_{l+1} 相匹配;

(2) 否则,如果 $(d_{k+1} - d_k) < v(t_{l+1} - t_l)$ 的话,从该索引中删除 d_{k+1} 并且将所有后面的索引减 1 以使顺序地下一深度数是 d_{k+1} ,并且返回到步骤(1);

(3) 否则,如果 $(d_{k+1} - d_k) > v(t_{l+1} - t_l)$ 的话,从该索引中删除 d_{l+1} 并且将所有后面的索引减 1 以使顺序地下一时间数是 t_{l+1} ,并且返回到步骤(1);

其中 u 表示最后确认的速度估算值;并且

e 表示误差幅度。

19. 根据权利要求 18 所述的方法,其中,该误差幅度 e 不大于百分之十。

20. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,递增地比较所述变换后的第二 CCL 测井记录与该第一 CCL 测井记录是使用接箍匹配模式算法来进行比较并且在一个时间使多于两个的单独峰值相关联。

21. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,从该井筒获取 CCL 数据集包括:

在线缆上将套管接箍定位器下入该井筒中;并且

拉升该套管接箍定位器以作为深度的函数来记录多个磁信号。

22. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,该井下工具进一步包括打捞颈。

23. 根据权利要求 1 所述的方法,其中:

所述可致动井筒装置是压裂塞,该压裂塞被配置成当在该井筒中在所述选定位置被致动时形成基本流体密封;

该压裂塞包括弹性密封元件和一组卡瓦以用于将该井下工具的位置保持成紧邻所述选定深度;并且

发送对该密封元件和所述卡瓦进行致动的致动信号。

24. 根据权利要求 23 所述的方法,其中:

该压裂塞是由易碎材料制造的;并且

该压裂塞被配置成在该压裂塞被设定在该井筒中之后的指定时间段自毁。

25. 根据权利要求 1 所述的方法,其中:

所述可致动井筒装置是具有充料的射孔枪;并且

发送对该射孔枪进行致动的致动信号以引爆所述充料。

26. 根据权利要求 25 所述的方法,其中:

该射孔枪基本上是由易碎材料制造的;并且

该射孔枪被配置成在所述充料爆炸之后自毁。

27. 一种在井筒中执行管状作业的工具组件,该井筒具有套管接箍,所述套管接箍形成该井筒的物理签名,并且该工具组件包括:

可致动工具;

套管接箍定位器,该套管接箍定位器用于基于沿管状体提供的所述物理签名来感测所述可致动工具在该管状体中的位置;以及

机载控制器,该机载控制器被配置成当该位置装置已经基于所述套管接箍识别出该可致动工具的选定位置时向该可致动工具发送致动信号;

其中:

该可致动工具、该套管接箍定位器以及该机载控制器被一同确定尺寸并且被安排成作为自主单元部署在该管状体中;

该机载控制器已经在存储器中储存有第一 CCL 测井记录,该第一 CCL 测井记录表示来自该井筒的预记录的磁信号;并且

该机载控制器被编程为:

随着该工具组件横穿所述套管接箍,连续地记录磁信号,从而形成第二 CCL 测井记录;

通过应用移动窗口式统计分析而对该第二 CCL 测井记录的已记录的磁信号进行变换;

在部署该井下工具的过程中递增地比较所述变换后的第二 CCL 测井记录与该第一 CCL 测井记录以便关联表示套管接箍位置的值;

对在该井筒中的选定位置进行识别;并且

在该处理器已经识别出该选定位置时向该可致动工具发送致动信号,以便执行所述管状作业。

28. 根据权利要求 27 所述的工具组件,其中:

该可致动工具是压裂塞,该压裂塞被配置成当在该管状体中在该选定位置被致动时形成基本流体密封;并且

该压裂塞包括弹性密封元件和一组卡瓦以用于将该工具组件的位置保持成紧邻该选定位置。

29. 根据权利要求 27 所述的工具组件,其中:

该工具组件是射孔枪组件;并且

该可致动工具包括具有相关联充料的射孔枪。

30. 根据权利要求 27 所述的工具组件,进一步包括:

打捞颈。

31. 根据权利要求 27 所述的工具组件,其中:

该可致动工具是桥塞,该桥塞被配置成当在该管状体中在该选定位置被致动时形成基本流体密封;并且

该桥塞包括弹性密封元件和一组卡瓦以用于将该工具组件的位置保持成紧邻该选定位置。

32. 根据权利要求 27 所述的工具组件,进一步包括:

加速计,该加速计与该机载控制器电通信以便当比较所述变换后的第二 CCL 测井记录与该第一 CCL 测井记录时提供该工具组件的速度估算值。

33. 根据权利要求 27 所述的工具组件,其中:

该套管接箍定位器包括紧邻该工具组件的第一末端的第一套管接箍定位器;

该工具组件进一步包括紧邻该工具组件的相反第二末端的以一个距离 d 分开的第二套管接箍定位器;并且

该机载控制器进一步被编程为:

基于该距离(d)除以该第一和第二套管接箍定位器分别横穿一个套管接箍的时间(t)来计算速度,以便在比较所述变换后的第二 CCL 测井记录与该第一 CCL 测井记录时提供该工具组件的速度估算值。

34. 根据权利要求 27 所述的工具组件,其中:

该可致动工具是套管补贴器、水泥承留器或桥塞;并且

该可致动工具是由可铣材料制造的。

用于自主井下工具的自动控制和定位的方法

[0001] 相关申请

[0002] 本申请要求于 2010 年 12 月 17 日提交的美国临时申请 61/424, 285 的权益。

[0003] 本申请涉及于 2010 年 5 月 26 日提交的、未决的美国临时专利申请号 61/348, 578。该申请标题为“Assembly And Method For Multi-Zone Fracture Stimulation of A Reservoir Using Autonomous Tubular Units (使用自主管状单元的用于油气藏的多层压裂增产的组件和方法)”且在此通过引用整体地结合于本文中。

[0004] 本节旨在引入本领域中可与本披露的示例性实施例相关联的不同方面。相信本讨论能够帮助提供一个框架以促进更好地理解本发明的具体方面。因此,应当理解的是本节内容应当从这个角度去阅读,而不必作为对现有技术的承认。

技术领域

[0005] 本发明总体上涉及对地下地层进行射孔和处理以使能够从那产出油和气的领域。更确切的说,本发明提供了一种用于远程致动自主井下工具的方法以帮助射孔、隔离或者处理一个层段或顺序地多个层段。

背景技术

[0006] 在钻凿油井和气井中,使用在钻柱下端处向下驱动的钻头来形成井筒。在钻凿到一个预定深度后,移除钻柱和钻头,并且对该井筒衬以一个套管柱。因此在该套管柱与周围的地层之间形成一个环形区域。

[0007] 典型的是进行注水泥作业以便使用水泥填充或“挤注”该环形区域。这样用于形成一个水泥护层。这种水泥和套管的组合加强了该井筒并且有利于对在该套管后面的这些地层进行隔离。

[0008] 将具有逐渐变小的外直径的几个套管柱放置在该井筒中是常见的。因此,钻凿并且然后对逐渐变小的多个套管柱注水泥的过程被重复进行几次或者甚至多次直到该井达到总长度。最后的套管柱(被称为生产套管)被水泥灌注就位。在一些实例中,最后的套管柱是衬套,即不会接到地表上而是挂在前一个套管柱下端的一个套管柱。

[0009] 作为完井过程的一部分,该生产套管在一个希望水平成被射孔。这意味着穿过该套管及其周围的水泥护层射出了多个横向孔。这样提供了在该井筒与周围的地表下地质层段之间的流体连通,并且允许烃流体流入该井筒中。此后,地层通常被压裂。

[0010] 液压压裂包括将粘性流体以能使储集岩断裂并形成裂纹网络的高压和速率注入地表下地质层段中。压裂流体典型的是剪切稀释的非牛顿凝胶或乳液。压裂流体典型地与粒状支撑剂材料(如砂、陶瓷珠或其他颗粒材料)混合。支撑剂起到在液压被释放后使裂纹保持开放的作用。这种裂纹和注入的支撑剂的组合使处理过的油气藏的产能增大。

[0011] 为进一步激励地层并且对井下的靠近井筒的区域进行清理,操作者可以选择对地层进行“酸化”。这通过沿井筒向下并通过射孔注入酸性溶液来实现。当地层包括碳酸盐岩时使用酸化溶液是特别有利的。在作业过程中,钻井公司将浓缩的甲酸、乙酸或者其他酸性

成分注入到井筒中并且引导流体进入选定的感兴趣区。酸有助于溶解碳酸盐材料,由此打通了多孔通道,通过这些通道烃流体可以流动入井筒中。此外,酸有助于溶解可侵入靠近井筒区域的钻井泥浆。

[0012] 如以上描述的液压压裂和酸性溶液的应用在应用于多个单独目标区时是石油工业作业中的日常工作的一部分。这样的目标区可代表总垂直厚度高达大约 60 米(200 英尺)的地下地层。当存在有待被液压压裂的多个油气藏或层状油气藏或者存在一个非常厚的含烃地层(如超过大约 40 米(135 英尺))时,则需要更复杂的处理技术来实现对整个目标地层的处理。在此方面,作业公司必须对各区进行隔离以确保每个单独的区不但被射孔并且被适度地压裂和处理。以此方式,操作者能够引导压裂流体和激励剂穿过每组射孔并进入每个感兴趣层内以便有效地增大沿所有区的产能。

[0013] 对用于预生产处理的各区进行隔离需要分级处理这些层段。这样进而涉及使用所谓的转向方法。在石油工业术语中,“转向”是指注入的流体从进入一组射孔转向以使该流体主要只进入一个选定感兴趣区。在多个感兴趣区有待被射孔的情况下,需要实施多级转向。

[0014] 为了对多个选定的感兴趣区进行隔离,在井筒中可以采用各种转向技术。已知的转向技术包括使用以下各项:

[0015] - 机械装置,如桥塞、封隔器、井下阀、滑动套筒以及挡板 / 塞组合;

[0016] - 封堵球;

[0017] - 颗粒,如砂、陶瓷材料、支撑剂、盐、蜡、树脂或其它化合物;以及

[0018] - 化学系统,如增粘流体、凝胶状流体、泡沫或其他化学配方的流体。

[0019] 用于对流体进入或流出给定一组射孔的流动进行暂时封堵的方法在美国专利号 6,394,184 中被更充分地描述,其标题为“Method and Apparatus for Stimulation of Multiple Formation Intervals (用于多地层层段增产的方法和装置)”,于 2002 年授权。本申请涉及这篇 ‘184 专利并且在此引用了该专利的全部内容。

[0020] 这篇 ‘184 专利还披露了用于将井底组件(“BHA”)下入井筒中并且然后创建在井筒与各感兴趣区之间的流体连通的新型技术。在大部分实施例中,BHA 包括具有相关联装料的各种射孔枪。BHA 进一步包括线缆,该线缆从地表延伸并且到达该组件以用于对这些射孔枪提供电信号。这些电信号允许操作者引爆充料,由此形成射孔。

[0021] BHA 还包括一组机械致动的、可重新设定的轴向位置锁定装置或卡瓦。这些说明性的卡瓦由一个“连续 J 形”机构通过使得轴向负荷在压缩与拉伸之间循环而被致动。BHA 进一步包括可膨胀封隔器或其他密封机构。通过在卡瓦被设定在套管中之后施加轻微的压缩负荷来致动封隔器。封隔器是可重新设定的,以便 BHA 可沿该井筒移动到不同的深度或位置以便对选定射孔进行隔离。

[0022] BHA 还包括套管接箍定位器。该套管接箍定位器允许操作者监测该组件的深度或位置以用于适当地引爆充料。在充料被引爆从而套管被穿透以与周围的感兴趣区流体连通之后,移动 BHA 以使封隔器可被设定在一个新深度。套管接箍定位器允许操作者将 BHA 相对于新形成的射孔移动到一个适当深度,并且然后对这些射孔进行隔离以用于液压压裂和化学处理。

[0023] 这篇 ‘184 专利中披露的 BHA 的各种实施例中的每个都包括用于将该组件部署到

井筒中并且然后沿该井筒向上和向下平移该组件的装置。这样的平移装置包括一卷连续油管、常规接合管、线缆、电线或井下牵引器。在任何实例中，井底组件的目的是要允许操作者沿各个感兴趣区对套管进行射孔，并且然后顺序地对相应感兴趣区进行隔离以使压裂流体可以在同一行程中被注入感兴趣区。

[0024] 如‘184 专利中所描述过程的完井过程需要使用地表设备。图 1 呈现了一个井场 100 的一个侧视图，其中正在钻凿一口井。井场 100 正使用已知的地表设备 50 来将井筒工具(未示出)支撑在井筒 10 之上和之中。井筒工具可以是例如射孔枪或压裂塞。

[0025] 地表设备 50 首先包括润滑器 52。润滑器 52 限定了细长管状装置，该管状装置被配置成接收井筒工具(或一串井筒工具)并且将它们引导至井筒 10 中。一般而言，润滑器 52 必须具有与射孔枪组件(或其他工具柱)的长度相比更长的长度以便允许该射孔枪组件在压力下被安全地部署在井筒 100 中。

[0026] 润滑器 52 以使得控制并维持井筒 10 中的压力的方式来传递该工具柱。通过使用可容易获得的现有设备，从地球地表 105 到润滑器 52 的顶部的高度可近似 100 英尺。根据总长度需求，也可使用其他润滑器悬挂系统(定制的完井/修井机)。可替代地，为降低总地表高度需求，可以使用与在于 2000 年 5 月 2 日授权的美国专利号 6,056,055 中的类似的井下润滑器系统来作为地表设备 50 和完井作业的一部分。

[0027] 井口 70 被提供在井筒 10 上在地球地表 105 处。井口 70 用于选择性地密封井筒 10。在完井过程中，井口 10 包括各种绕线部件(有时被称作卷筒)。井口 70 和它的卷筒被用于在钻机安装作业、生产作业以及钻机拆卸作业期间进行流量控制和液压隔离。

[0028] 这些卷筒可以包括顶部阀 72。顶部阀 72 用于使井筒 10 与润滑器 52 或在井口 70 上的其他部件隔离。卷筒还包括下部主压裂阀 125 和上部主压裂阀 135。这些下部主压裂阀 125 和上部主压裂阀 135 提供了隔离在它们相应位置上方和下方的井筒压力的阀门系统。根据井场特定的作法以及生产工作的设计，有可能的是这些隔离类型的阀门中的一个可以是不需要或不使用的。

[0029] 井口 70 和它的多个卷筒可以还包括侧出口喷射阀 74。这些侧出口喷射阀 74 提供了用于将激励流体注入到井筒 10 中的位置。来自用于注入激励流体的地表泵(未示出)和容器(未示出)的管线通过使用适当的装配件和/或耦合件而被附接到喷射阀 74。

[0030] 润滑器 52 借助于起重臂 54 而被悬挂在井筒 10 的上方。起重臂 54 通过起重基座 56 被支撑在地球地表 105 的上方。起重基座 56 可以是一台工作车辆，该车辆能够在行车道上运输起重臂 54 的一部分或全部。起重臂 54 包括钢丝或缆绳 58，这些钢丝或缆绳用于固持和操作润滑器 52 进出井筒 10 上方的位置。起重臂 54 和起重基座 56 被设计成用于支承润滑器 52 的负荷以及预计用于完井作业的任何负荷要求。

[0031] 在图 1 的视图中，润滑器 52 已经被放下到井筒 10 的上方。说明性的井筒 10 的上部部分是可见的。井筒 10 限定了井身 5，该井身从地球地表 105 延伸并且进入地球地表下地质 110 中。

[0032] 井筒 10 首先由地表套管 20 的管柱形成。地表套管 20 具有与下部主压裂阀 125 密封连接的上末端 22。地表套管 20 还具有下末端 24。地表套管 20 通过周围的水泥护层 25 被固定在井筒 10 中。

[0033] 井筒 10 还包括生产套管 30 的管柱。生产套管 30 也通过周围的水泥护层 35 被固

定在井筒 10 中。生产套管 30 具有与上部主压裂阀 135 密封连接的上末端 32。生产套管 30 还具有下末端(未示出)。可以理解的是,井筒 10 的深度优选是延伸到在有待激励的最低区或地表下层段之下的一定距离以便容纳井下工具(如射孔枪组件)的长度。

[0034] 再次提及地表设备 50,地表设备 50 还包括线缆 85。井下工具(未示出)被附接到线缆 85 的末端。为保护线缆 85,井口 70 可以包括线缆隔离工具 76。线缆隔离工具 76 提供了防护线缆 85 使其在地层压裂过程中与被注入到侧出口喷射阀 74 中的支撑剂携带流体的直接流动相隔离的手段。

[0035] 地表设备 50 还示出具有防喷器 60。防喷器 60 通常在运行失常事件中被远程致动。润滑器 52、起重臂 54、起重基座 56、线缆 85 以及防喷器 60 (以及它们的相关联的辅助控制和 / 或致动部件) 是完井领域技术人员已知的标准设备。

[0036] 可以理解的是地表设备 50 的各种项目以及井口 70 的部件只是说明性的。一个典型的完井作业将包括大量的阀门、管、容器、装配件、耦合件、仪器、泵以及其他装置。此外,井下设备可以通过使用电线、卷绕管路或牵引器而被下入或拉出井筒。

[0037] 润滑器 52 以及地表设备 50 的其他项目被用于部署各种井下工具,如压裂塞和射孔枪。有利地,本发明包括用于对在顺序层段处的地表下地层进行无缝射孔和激励的装置和方法。这样的技术在此可称作“准时化射孔”(JITP)。这个 JITP 工艺允许操作者在有限地或者甚至不用从该井筒“起出管柱”的情况下在多个层段处压裂井。这个工艺对于具有大量透镜状砂岩生产区的致密气藏的多区压裂激励 / 增产而言具有特别的益处。例如,该 JITP 工艺当前被用于开采皮申斯(Piceance)盆地中的烃流体。

[0038] JITP 技术是美国专利号 6,543,538 的主题,其标题为“Method for Treating Multiple Wellbore Intervals (用于处理多井筒层段的方法)”。这篇‘538 专利授权于 2003 年 4 月 8 日、并且在此通过引用整体地结合于本文中。在一个实施例中,‘538 专利总体上传授了以下内容:

[0039] - 使用射孔装置,对由井筒横穿的一个或更多个地下地层中的至少一个层段进行射孔;

[0040] - 在不从井筒移除射孔组件的情况下泵送处理流体穿过射孔并进入选定层段;

[0041] - 部署或激活井筒中的物品或物质以可移除地封堵进一步的流体流入已处理的射孔中;并且

[0042] - 对地下地层中的至少一个更多的层段重复这个过程。

[0043] ‘184 专利和 ‘538 专利中披露的技术提供了在单个井筒中对多个地表下地层目标进行增产处理。具体地说,这些技术为:(1)通过井下设备的单次部署而使得能够实现多个目标区或区域的增产;(2)使得能够对每个单独区进行选择性地布置每个增产处理以提高井产能;(3)提供在区之间的转移以确保每个区根据设计被处理并且不会被无意地损坏先前处理过的区;并且(4)允许以相对高的流率进行泵送的增产处理以便促进有效率的且有效的增产。其结果是,这些多区增产技术提高了来自包含多个堆叠的地表下层段的地表下地层的烃开采量。

[0044] 虽然这些多区增产技术提供了更有效率的完井工艺,但是它们典型地仍然涉及使用多个长的线缆传送的射孔枪。使用这样的射孔枪导致了各种挑战,最值的注意的是,难以将射孔枪的长组件穿过润滑器下入井筒中。此外,在液压压裂过程中由于井筒中存在线缆

而限制了泵送速率,这是由于磨料液压流体会在该线缆上产生摩擦力或阻力。此外,起重机和线缆设备在位置上需要占用空间并且产生了完井费用的增加,由此降低了钻井项目的整体经济性。

[0045] 因此,需要在没有润滑器和起重臂的情况下可被部署到井筒中的井下工具。此外,对于可以部署在生产套管的管柱或其他管状体中的自主的(即,是不由地表电气控制的)工具存在一种需求。此外,对于在不被泵送速率限制的情况下对沿井筒的多个层段进行射孔和处理的方法存在一种需求。

发明内容

[0046] 在此描述的组件和方法在实施油气勘探和生产活动中具有各种益处。首先,提供了一种用于对在井筒中的井下工具进行致动的方法。根据该方法,该井筒具有套管接箍,这些套管接箍形成了用于该井筒的物理签名。

[0047] 该方法首先包括从该井筒获取 CCL 数据集。CCL 数据集使连续记录的磁信号与被测量深度相关联。以此方式,形成了用于该井筒的第一 CCL 测井记录。

[0048] 该方法还包括选择在井筒中的一个位置以用于对井筒装置进行致动。该井筒装置可以是例如桥塞、水泥塞、压裂塞或射孔枪。该井筒装置是井下工具的一部分。

[0049] 该方法进一步包括将该第一 CCL 测井记录下载到处理器中。该处理器也是该井下工具的一部分。该方法然后包括将该井下工具部署到该井筒中。该井筒工具横穿套管接箍并且使用其自身的套管接箍定位器对这些套管接箍进行感测。

[0050] 在该井下工具中的处理器被编程成用于随着该井下工具横穿套管接箍而连续地记录磁信号。以此方式,形成了第二 CCL 测井记录。该处理器或机载控制器通过应用移动窗口式统计分析对该第二 CCL 测井记录的已记录磁信号进行变换。此外,该处理器在部署该井下工具的过程中递增地对变换后的第二 CCL 测井记录与第一 CCL 测井记录进行比较以关联指示套管接箍位置的值。这优选是通过模式匹配算法来实现。这种算法关联了表示套管接箍位置的单独峰值或甚至成组峰值。此外,该处理器被编程成用于识别该井筒中的选定位置,并且然后在该处理器已经识别出选定位置时向可致动井筒装置发送致动信号。

[0051] 该方法然后进一步包括发送该致动信号。发送该致动信号致动井筒装置。以此方式,该井下工具是自主的,意味着该井下工具没有因为要接收致动信号而被系到地表。

[0052] 在一个实施例中,该方法进一步包括针对用于该第一 CCL 测井记录的 CCL 数据集进行变换。这也是通过应用移动窗口式统计分析来实现的。该第一 CCL 测井记录作为变换后的第一 CCL 测井记录被下载到该处理器中。在此实施例中,该处理器递增地对变换后的第二 CCL 测井记录与变换后的第一 CCL 测井记录进行比较以关联指示套管接箍位置的值。

[0053] 在以上的实施例中,应用移动窗口式统计分析优选是包括:限定用于多组磁信号值的模式窗口尺寸,并且然后随时间计算磁信号值的移动平均值 $m(t+1)$ 。该移动平均值 $m(t+1)$ 优选是向量形式的并且代表模式窗口的磁信号值的指数加权的移动平均值。应用移动窗口式统计分析然后进一步包括:限定该窗口式统计分析的存储器参数 μ , 并且计算随时间的磁信号值的移动协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$ 。

[0054] 在用于该方法的一个设置中,计算磁信号值的移动协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$ 包括:

[0055] 计算在最近模式窗口 $(W+1)$ 中的磁信号值的指数加权的移动二阶矩 $A(t+1)$; 并且

- [0056] 基于这个指数加权的二阶矩 $A(t+1)$ 来计算移动协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$ 。
- [0057] 计算指数加权的二阶矩 $A(t+1)$ 可以根据以下等式来实现：
- [0058] $A(t+1) = \mu y(t+1) \times [y(t+1)]^T + (1-\mu)A(t)$ ，
- [0059] 计算该移动协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$ 是根据以下等式来实现的：
- [0060] $\Sigma(t+1) = A(t+1) - m(t+1) \times [m(t+1)]^T$ 。
- [0061] 在另一个实施例中，应用移动窗口式统计分析进一步包括：
- [0062] 当部署该井下工具时计算初始留数 $R(t)$ ；
- [0063] 随时间计算移动留数 $R(t+1)$ ；并且
- [0064] 基于所述移动留数 $R(t+1)$ 计算移动阈值 $T(t+1)$ 。
- [0065] 计算该初始留数 $R(t)$ 优选是根据以下等式来实现的：
- [0066] $R(t) = [y(t) - m(t-1)]^T \times [\Sigma(t-1)^{-1} \times [y(t) - m(t-1)]]$
- [0067] 其中 $R(t)$ 是单个的无量纲的数，
- [0068] $y(t)$ 是代表当前模式窗口 (W) 的磁信号值的集合的向量，并且
- [0069] $m(t-1)$ 是代表先前模式窗口 ($W-1$) 的磁信号值的集合的平均值的向量。
- [0070] 计算该移动阈值 $T(t+1)$ 优选是根据以下等式来实现的：
- [0071] $T(t+1) = MR(t+1) + STD_Factor \times STDR(t+1)$
- [0072] 其中 $MR(t)$ 是先前模式窗口的移动留数，
- [0073] $MR(t+1)$ 是当前模式窗口的移动留数，
- [0074] $STDR(t+1)$ 是基于 $SR(t+1)$ 的当前模式窗口的留数 $R(t)$ 的标准偏差，并且
- [0075] $SR(t+1)$ 是当前模式窗口的留数的二阶矩。
- [0076] 如所指出的，处理器可以使用模式匹配算法来递增地对变换后的第二 CCL 测井记录与第一 CCL 测井记录进行比较以关联指示套管接箍位置的值。在一个方面中，接箍模式匹配算法包括：
- [0077] 从第一 CCL 测井记录为深度且从变换后的第二 CCL 测井记录为时间建立基准参考；
- [0078] 估算自主工具的初始速度 v_1 ；
- [0079] 更新来自最后确认的接箍匹配的接箍匹配索引，关于深度的索引被确定为 d_k ，并且关于时间的索引被确定为 t_1 ；
- [0080] 使用收敛的迭代过程来确定套管接箍的下一匹配；
- [0081] 更新索引；并且
- [0082] 重复迭代过程。
- [0083] 估算该自主工具的初始速度 v_1 可以包括：
- [0084] 假定第一深度 d_1 与第一时间 t_1 相匹配；
- [0085] 假定第二深度 d_2 与第二时间 t_2 相匹配；
- [0086] 使用以下等式来计算估算的初始速度：
- [0087]
$$v_1 = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$$
- [0088] 在此还提供了一种用于在井筒中执行作业的工具组件。这样的作业可以代表例如完井作业或修井作业。同样，井筒由套管接箍完成，这些套管接箍形成了用于该井筒的物理

签名。该井筒可以任选地具有短接头或短节以便起验证性标记的作用。

[0089] 在一个实施例中,该工具组件首先包括可致动工具。这个可致动工具可以是例如压裂塞、桥塞、切削工具、套管补贴器、水泥承留器或射孔枪。

[0090] 该工具组件还包括套管接箍定位器或 CCL 传感器。套管接箍定位器基于沿该管状体提供的物理签名来感测在该管状体中的位置。更确切的说,传感器感测沿该套管的磁通量的变化(指示出接箍),并且产生电流。物理签名由接箍沿该管状体的间距形成。

[0091] 该工具组件进一步包括机载控制器。机载控制器已经在存储器中储存了第一 CCL 测井记录。该第一 CCL 测井记录表示从该井筒预记录的磁信号。

[0092] 机载控制器被编程成用于结合用于对井下工具进行致动的方法而执行以上描述的功能。该控制器有利地被配置成当该 CCL 传感器已经识别出相对套管接箍的在该井筒中的选定位置时向可致动工具发送致动信号。例如,该控制器随着该工具组件横穿套管接箍而连续地记录磁信号,从而形成第二 CCL 测井记录。该控制器通过应用移动窗口式统计分析对该第二 CCL 测井记录的已记录磁信号进行变换。该控制器然后在部署该井下工具的过程中递增地对变换后的第二 CCL 测井记录与该第一 CCL 测井记录进行比较以关联指示套管接箍位置的值。

[0093] 可致动工具、套管接箍定位器以及机载控制器被一同确定尺寸并且被设置成将作为一个自主单元而被部署在管状体中。在此方面,可致动工具被自动地致动而无需来自地表的外部力或信号。实际上,机载控制器识别在该井筒中的选定位置,并且然后在该控制器已经识别出选定位置时向可致动工具部件发送致动信号。可致动工具然后执行井筒作业。

[0094] 优选的是该工具组件是由易碎/脆性材料制造的。该工具组件响应于指定事件而自毁。因此,在该工具是压裂塞的情况下,该工具组件可以在设定之后的特定时间在该井筒中自毁。在该工具是射孔枪的情况下,该工具组件可以在该射孔枪一旦达到选定水平或深度正射击时自毁。

[0095] 该工具组件可以包括打捞颈。这允许操作者在该工具被卡住或者发射失败的事件中取回该工具。该工具组件优选是还将具有用于向该控制器和任何工具设定部件提供电力的电池组。

[0096] 在可致动工具是压裂塞或桥塞的情况下,该塞可以具有弹性密封元件。当该工具被致动时,总体上是环形件构形的密封元件膨胀以便在选定位置在该管状体中形成基本流体密封。该塞可以具有用于将该工具组件的位置保持成紧邻选定位置的一组卡瓦。

[0097] 在可致动工具是射孔枪的情况下,优选的是该射孔枪组件包括用于防止该射孔枪的相关联充料过早引爆的安全系统。

附图说明

[0098] 为了更好地理解本发明,在此附上附图、图表、图形和/或流程图。然而应当指出的是,这些附图仅示出本发明的选定实施例,并且因此不被认为是限制范围,因为本发明可承认其他同等有效的实施例和应用。

[0099] 图 1 呈现了井场的侧视图,其中正在完成一口井。已知的地表设备被提供用于将井筒工具(未示出)保持在井筒之上和之中。这是对现有技术的一个描绘。

[0100] 图 2 是可用于管状作业(如在井筒中进行的作业)的无需图 1 的润滑器的自主工具

的侧视图。在这个视图中,该工具是部署在生产套管管柱中的压裂塞组件。该压裂塞组件以预致动位置和致动位置两者示出。

[0101] 图3是可用于管状作业(如在井筒中进行的作业)的以替代目的的自主工具的侧视图。在这个视图中,该工具是射孔枪组件。该射孔枪组件再一次被部署在生产套管管柱中,并且以预致动位置和致动位置两者示出。

[0102] 图4A是具有井筒的井场的侧视图,该井筒用于接收自主工具。该井筒是在至少感兴趣区“T”和“U”中是完成的。

[0103] 图4B是图4A的井场的侧视图。在此,在一个实施例中该井筒已经接收了第一射孔枪组件。

[0104] 图4C是图4A的井场的另一个侧视图。在此,来自图4B的第一射孔枪组件已经在该井筒中下落到邻近感兴趣区“T”的位置。

[0105] 图4D是图4A的井场的另一个侧视图。在此,该第一射孔枪组件的充料已经被引爆,从而导致该射孔枪组件的射孔枪发射。沿感兴趣区“T”的套管已被射孔。

[0106] 图4E是图4A的井场的又一个侧视图。在此,流体在高压下正被注入到该井筒中,从而导致感兴趣区“T”中的地层被压裂。

[0107] 图4F是图4A的井场的另一个侧视图。在此,在一个实施例中该井筒正接收压裂塞组件。

[0108] 图4G仍然是图4A的井场的另一个侧视图。在此,来自图4F的压裂塞组件已经在该井筒中下落到在感兴趣区“T”上方的位置。

[0109] 图4H是图4A的井场的另一个侧视图。在此,该压裂塞组件已经被致动并且设定在感兴趣区“U”的下方。感兴趣区“U”在感兴趣区“T”之上。

[0110] 图4I是图4A的井场的又一个侧视图。在此,该井筒已经接收了第二射孔枪组件。

[0111] 图4J是图4A的井场的另一个侧视图。在此,该第二射孔枪组件已经在该井筒中下落到邻近感兴趣区“U”的位置。

[0112] 图4K是图4A的井场的另一个侧视图。在此,该第二射孔枪组件的充料已经被引爆,从而导致该射孔枪组件的射孔枪发射。沿感兴趣区“U”的套管已被射孔。

[0113] 图4L是图4A的井场的又一个侧视图。在此,流体在高压下正被注入到该井筒中,从而导致感兴趣区“U”中的地层被压裂。

[0114] 图4M提供了图4A的井场的最后的侧视图。在此,该压裂塞组件已经从该井筒移除。此外,该井筒现正在接收生产流体。

[0115] 图5A是井筒的一部分的侧视图。该井筒在多个感兴趣区中被完成,包括区“A”、“B”和“C”。

[0116] 图5B是图5A的井筒的另一个侧视图。在此,该井筒已经接收第一射孔枪组件。该射孔枪组件正沿该井筒向下泵送。

[0117] 图5C是图5A的井筒的另一个侧视图。在此,该第一射孔枪组件已经在该井筒中下落到邻近感兴趣区“A”的位置。

[0118] 图5D是图5A的井筒的另一个侧视图。在此,该第一射孔枪组件的充料已经被引爆,从而导致该射孔枪组件的射孔枪发射。沿感兴趣区“A”的套管已被射孔。

[0119] 图5E是图5A的井筒的又一个侧视图。在此,流体在高压下正被注入到该井筒中,

从而导致感兴趣区“A”中的岩石基体被压裂。

[0120] 图 5F 是图 5A 的井筒的又一个侧视图。在此,该井筒已经接收了第二射孔枪组件。此外,封堵球已经被投入到井筒中在该第二射孔枪组件之前。

[0121] 图 5G 是图 5A 的井筒的又一个侧视图。在此,该第二压裂塞组件已经下落到该井筒中到达邻近感兴趣区“B”的位置。此外,封堵球已经堵塞了沿感兴趣区“A”的新形成的射孔。

[0122] 图 5H 是图 5A 的井筒的另一个侧视图。在此,该第二射孔枪组件的充料已经被引爆,从而导致该射孔枪组件的射孔枪发射。沿感兴趣区“B”的套管已被射孔。感兴趣区“B”在感兴趣区“A”之上。此外,流体在高压下正被注入到该井筒中,从而导致感兴趣区“B”中的岩石基体被压裂。

[0123] 图 5I 提供了图 5A 的井筒的最后侧视图。在此,该生产套管已经沿感兴趣区“C”被射孔。可看出多组射孔。此外,地层裂纹已经形成在沿感兴趣区“C”的地表下地层中。封堵球已经流回到地表。

[0124] 图 6A 和图 6B 呈现了接收用于执行井筒作业的整体式工具组件的井筒的下部部分的侧视图。该井筒在单个区中被完成。

[0125] 在图 6A 中,代表组合的压裂塞组件和射孔枪组件的自主工具正沿该井筒下落。

[0126] 在图 6B 中,该压裂塞组件的塞体已被致动,从而导致该自主工具被安放在该井筒中的选定深度处。该射孔枪组件准备发射。

[0127] 图 7 是示出通过使用自主工具来完成井筒的实施例的步骤的流程图。

[0128] 图 8 是示出用于一种对井下工具进行致动的方法的实施例的一般步骤的流程图。该方法在作为下套管的井眼被完成的井筒中实施。

[0129] 图 9 是示出了如可根据图 8 的方法用于对井下工具进行致动的一种算法的实施例的特征的流程图。

[0130] 图 10 是提供可用于应用作为图 9 的算法的一部分的移动窗口式统计分析的步骤列表的实施例的流程图。应用该移动窗口式统计分析允许算法确定换算后的磁信号是否超过指定阈值。

[0131] 图 11 提供了对运行参数所做出的确定的实施例的流程图。这些运行参数涉及窗口式统计分析。

[0132] 图 12 是示出对额外的运行参数所做出的确定的实施例的步骤的流程图。这些涉及阈值的确定。

[0133] 图 13 呈现了示出用于计算移动阈值的实施例的步骤的流程图。这是根据图 10 的步骤的。

[0134] 图 14A 和图 14B 提供了涉及本发明的窗口式统计分析的实施例的屏幕截图。

[0135] 图 14A 示出了自主工具中的套管接箍定位器在其被部署在井筒的一个部分中时的磁响应。这与沿该井筒的留数值 $R(t)$ 进行比较。留数值 $R(t)$ 代表变换后的信号。

[0136] 图 14B 示出了在应用于阈值 $T(t)$ 时图 14A 的读数。阈值 $T(t)$ 是移动阈值。

[0137] 图 15 提供了用于迭代地对变换后的第二 CCL 测井记录与该第一 CCL 测井记录进行比较的方法的实施例的流程图。该流程图是用于来自图 9 的接箍模式匹配算法。

[0138] 图 16 提供了用于来自 CCL 测井记录的初始磁信号的屏幕截图。图 16 的 x 轴线表

示深度(以英尺测量),而 y 轴线表示信号强度。

[0139] 图 17A、图 17B 和图 17C 提供了对使用图 15 的方法的接箍模式匹配算法进行示范的多个屏幕截图。

[0140] 图 17A 是描绘接箍位置相对于深度的笛卡尔(Cartesian)图形。用于该第一 CCL 测井记录的线和用于变换后的第二 CCL 测井记录的线基本上重叠。

[0141] 图 17B 演示了沿井筒的一个三英尺区段的磁信号读数。这是来自该第一(或基础) CCL 测井记录的以深度的函数示出。

[0142] 图 17C 演示了沿井筒的相同的三英尺区段、用于第二 CCL 测井记录的磁信号读数。变换后的第二测井记录(或留数(t))被叠加到信号读数上。图 17C 演示了使用图 15 的方法的接箍模式匹配算法的实施例。

[0143] 图 18 呈现了对使用图 15 的方法的接箍模式匹配算法的替代实施例进行演示的图表。

具体实施方式

[0144] 定义

[0145] 如在此所使用的,术语“烃”是指主要(如果不排他地)包括元素氢和碳的有机化合物。烃可以还包括其他元素,例如,但不限于,卤素、金属元素、氮、氧和 / 或硫。烃总体上归为两类:脂族烃或直链烃;以及环烃或闭环烃,包括环萜烯。含烃材料的示例包括任何形式的天然气、油、煤以及可用作燃料或提炼成燃料的沥青。

[0146] 如在此所使用的,术语“烃流体”是指气态或液态的一种烃或多种烃的混合物。例如,烃流体可包括在地层条件下、在处理条件下或者在环境条件(15°C 以及 1atm 压强)下是气体或液体的一种烃或多种烃的混合物。烃流体可包括例如油、天然气、煤层甲烷、页岩油、热解油、热解气、煤的热解产物以及气态或液态的其他烃。

[0147] 如在此所使用的,术语“产出流体”和“生产流体”是指从包括例如富含有机物岩层的地表下地层取出的液体和 / 或气体。产出流体可包括烃流体和非烃流体两者。生产流体可包括,但不限于,油、天然气、热解的页岩油、合成气、煤的热解产物、二氧化碳、硫化氢以及水。

[0148] 如在此所使用的,术语“流体”是指气体、液体以及气体和液体的组合,也指气体和固体的组合、液体和固体的组合及气体、液体和固体的组合。

[0149] 如在此所使用的,术语“气体”是指处于其气相的流体。

[0150] 如在此所使用的,术语“油”是指主要包含可凝结烃的混合物的烃流体。

[0151] 如在此所使用的,术语“地表下地质”是指在地球表面以下出现的地质层。

[0152] 如在此所使用的,术语“地层”是指任何可限定的地表下地质区域。地层可包含任何地质地层的一个或更多个含烃层、一个或更多个不含烃层、上覆岩层和 / 或下覆岩层。

[0153] 术语“区”或“感兴趣区”是指包含烃的地层的一部分。可替代地,该地层可以是含水层段。

[0154] 对于本发明的目的而言,术语“生产套管”包括沿感兴趣区被固定到井筒中的一个或更多个套管接头、衬柱或任何其他管状体。

[0155] 术语“易碎”指的是容易破碎的、粉末化的或成为非常小的碎片的任何材料。术语

“易碎”包括如陶瓷的易碎材料。

[0156] 术语“可铣”指的是可以在井筒中被钻或磨成碎片的任何材料。此类材料可包括铝、黄铜、铸铁、钢、陶瓷、酚醛树脂、复合物以及它们的组合。

[0157] 术语“磁信号”涉及由于磁通量的存在或磁通量的变化所产生的电信号。这样的变化产生出可被检测和测量的电流。

[0158] 如在此所使用的,术语“移动窗口式统计分析”指的是包括选择具有基本相邻值的移动群并确定该群的一个或更多个代表性值的任何处理。这个移动群可例如以指定时间间隔来选择,并且代表性值可例如是平均值或者协方差矩阵。

[0159] 术语“CCL 测井记录”是指任何套管接箍测井记录。除另有规定外,在权利要求中,术语“测井记录”包括原始的井下信号值和处理过的信号值两者。

[0160] 如在此所使用的,术语“井筒”是指在地表下地质的通过钻孔或将导管插入地表下地质来制成的孔。井筒可具有基本上圆形的横截面或者具有其他横截面形状。如在此所使用的,术语“井”在指示地层中的一个开口时可以是与术语“井筒”可交换使用。

[0161] 选定的特定实施例的说明

[0162] 在此连同某些具体实施例来对本发明进行描述。然而,鉴于以下的详细描述特定于具体实施例或具体用途,这样仅是旨在说明性的,而不应被解释为限制本发明的范围。

[0163] 在此提出的是要使用用于完井或其他管状作业的自主的工具组件。在此方面,这些工具组件不需要线缆并且另外不从地表对其进行电气控制。工具组件的传送方法可包括重力、泵送以及牵引器传送。

[0164] 在此提出的各种工具组件总体上包括:

[0165] - 可致动工具;

[0166] - 位置装置,该位置装置用于基于沿管状体提供的物理签名感测可致动工具在该管状体中的位置;以及

[0167] - 机载控制器,该控制器被配置成用于当该位置装置基于物理签名识别出该工具的选定位置时向该工具发送致动信号。

[0168] 可致动工具被设计成响应于该致动信号而被致动以执行管状作业。

[0169] 可致动工具、位置装置以及机载控制器被一同确定尺寸并且被安排成以自主单元形式将被部署在管状体中。该管状体优选是被构造成用来生产烃流体的井筒。

[0170] 图 2 呈现了如可用于管状作业的示意性自主工具 200' 的侧视图。在这个视图中,工具 200' 是压裂塞组件,并且管状作业是完井作业。

[0171] 压裂塞组件 200' 被部署在生产套管 250 管柱内。生产套管 250 由接箍 254 处被螺纹连接的多个“接头”252 形成。完井作业包括将流体在高压下注入生产套管 250 中。

[0172] 在图 2 中,该压裂塞组件以预致动位置和致动位置两者示出。该压裂塞组件的预致动位置以 200' 示出,并且致动位置以 200'' 示出。箭头“1”指示在其预致动位置中的压裂塞组件 200' 向下到达生产套管 250 中该压裂塞组件 200'' 位于其致动位置的一个位置的运动。该压裂塞组件将主要参照其 200' 的预致动位置来进行描述。

[0173] 压裂塞组件 200' 首先包括塞体 210'。塞体 210' 优选是将限定弹性密封元件 211' 和一组卡瓦 213'。该弹性密封元件 211' 响应于在套筒中的移动或现有技术中已知的其他手段而机械性膨胀。卡瓦 213' 也从组件 200' 沿楔形件(未示出)向外延伸,这些楔形件

围绕组件 200' 径向间隔布置。优选的是,卡瓦 213' 还响应于在相同套管中的移动或现有技术中已知的其他手段而沿着这些楔形件被向外推动。卡瓦 213' 在被致动时径向延伸以“咬”入套管中,从而使压裂塞组件 200' 固定就位。现有的具有适当设计的塞示例是 Smith Copperhead Drillable Bridge Plug 和 Halliburton Fas Drill[®] Frac Plug。

[0174] 压裂塞组件 200' 还包括设定 / 坐封工具 212'。设定工具 212' 将对卡瓦 213' 和弹性密封元件 211' 进行致动,并且使它们沿楔形件平移成与周围的套管 250 接触。

[0175] 在压裂塞组件 200'' 的致动位置中,塞体 210'' 被示为是膨胀状态。在这方面,弹性密封元件 211'' 膨胀成与周围的生产套管 250 密封接合,并且卡瓦 213'' 膨胀成与周围的生产套管 250 机械接合。密封元件 211'' 包括密封圈,而卡瓦 213'' 提供能“咬”入套管 250 的内直径中的多个槽或齿。因此,在工具组件 200'' 中,由密封元件 211'' 和卡瓦 213'' 构成的塞体 210'' 限制了可致动工具。

[0176] 压裂塞组件 200' 还包括位置定位器 214。位置定位器 214 起用于对工具组件 200' 在生产套管 250 中的位置进行感测的位置装置的作用。更确切地说,位置定位器 214 感测沿着井筒 250 的目标或“标签”的存在性,并且响应地产生深度信号。

[0177] 在图 2 的视图中,目标是套管接箍 254。这意味着位置定位器 214 是套管接箍定位器,在工业中称为“CCL”。随着其沿生产套管 250 向下移动,CCL 感测套管接箍 254 的位置。虽然图 2 将位置定位器 214 示意性地呈现为单个 CCL,可以理解的是位置定位器 214 可以是套管接箍定位器阵列。

[0178] 作为套管接箍定位器,位置定位器 214 在其横穿生产套管 250 时对磁信号值进行测量。这些磁信号值将根据周围的管状体的厚度而波动。随着该 CCL 穿过接箍 254,磁信号值将增大。磁信号被记录为深度的函数。

[0179] 操作者可以在井筒中预运行套管接箍定位器以便获得基准 CCL 测井记录。基准测井记录使套管接箍位置与测量深度相关联。通过这种方式,可以参照到达所需位置存在的接箍的数目来确定用于致动井下工具的位置。最终 CCL 测井记录被转化为适当的数据集,该数据集由代表磁信号的数字值构成。之后,将数字数据集下载到控制器 216 中作为第一 CCL 测井记录。

[0180] 还应指出的是每个井筒均具有其自身独特的套管接箍间距。这个间距产生指纹或物理签名。物理签名可以被有益地用于将压裂塞组件 200' 投放到井筒 100 中,并且在没有电信号或来自地表的机械控制的情况下致动压裂塞 200'。

[0181] 压裂塞组件 200' 还包括机载控制器 216。机载控制器 216 处理由位置定位器 214 产生的深度信号。在一个方面中,机载控制器 216 被编程为用于随着井下工具 200' 沿该井筒向下行进对套管接箍 254 进行计数。可替代地,机载控制器 216 被编程为用于记录磁信号值,并且然后通过使用移动窗口式统计分析来对其进行变换。这样呈现了变换后的第二 CCL 数据集。机载控制器 216 对信号峰值进行识别,并且将其与来自第一 CCL 测井记录的峰值进行比较以匹配套管接箍。在任一情况中,控制器 216 在到达选定深度时对压裂塞组件 200' 发送致动信号。更确切地说,致动信号导致密封元件 211'' 和卡瓦 213'' 被设定。

[0182] 在一些示例中,生产套管 250 可以被预设计成具有所谓的短接头,即选定的接头长度只有例如 15 英尺或 20 英尺,而不是由操作者选择用来完成一口井的如 30 英尺的“标准长度”。在这个事件中,机载控制器 216 可以使用由这些短接头提供的不均匀间距来作为

随着压裂塞组件 200' 移动通过生产套管 250 核对或确认在该井筒中的位置的手段。

[0183] 用于使控制器 216 能够知道自主工具在下套管的井筒中的位置的技术会在以下更详细地进行描述。技术使得机载控制器 216 能够在发送致动信号之前对最后接箍进行识别。通过这种方式,在控制器 216 确定自主工具已到达邻近选定感兴趣区的具体深度时致动可致动工具。在图 2 的示例中,机载控制器 216 激活压裂塞 210'' 和设定工具 212'' 以便导致压裂塞组件 200'' 停止移动并且以所需深度或位置被设定在生产套管 250 中。

[0184] 在一个方面中,机载控制器 216 包括计时器。机载控制器 216 被编程为用于在指定时间后释放压裂塞 210''。这可以通过导致在设定工具 212'' 中的套筒自身逆动来实现。压裂塞组件 200'' 于是可回流到地表并且通过清管器接收器(未示出)或其他此类装置被取出。可替代地,机载控制器 216 可以被编程为用于在指定时间段之后点燃引爆装置,于是这导致压裂塞组件 200'' 爆炸并自毁。引爆装置可以是引爆线,如 Primacord[®] 引爆线。在这样的设置中,整个压裂塞组件 200'' 是由易碎材料(如陶瓷)制造的。

[0185] 可以使用除压裂塞组件 200' /200'' 之外的自主工具的其他设置。图 3 呈现了如可用于管状作业的自主工具 300' 的替代性设置的侧视图。在这个视图中,工具 300' 是射孔枪组件。

[0186] 在图 3 中,该射孔枪组件以预致动位置和致动位置两者示出。该射孔枪组件的预致动位置以 300' 示出,并且致动位置以 300'' 示出。箭头“1”指示在其预致动(或下入)位置中的射孔枪组件 300' 向下到达在该井筒中射孔枪组件 300'' 位于其致动位置 300'' 的位置的运动。该射孔枪组件将主要参照其 300' 的预致动位置来进行描述,因为致动位置 300'' 意味着组件 300' 完全毁坏。

[0187] 射孔枪组件 300' 同样被部署在生产套管 350 管柱内。生产套管 350 由在接箍 354 处被螺纹连接的多个“接头”352 形成。完井作业包括通过使用射孔枪组件 300' 以各种选定间隔对生产套管 350 进行射孔。以下连同图 4A 至图 4M 以及图 5A 至图 5I 对使用射孔枪组件 300' 进行更充分地描述。

[0188] 射孔枪组件 300' 首先任选地包括打捞颈 310。打捞颈 310 被确定尺寸和配置成用作匹配井下打捞工具(未示出)的阳螺纹部分。打捞颈 310 允许操作者在射孔枪组件陷入套管 352 中或未能成功爆炸的这些不大可能的事件中取回该射孔枪组件 300'。

[0189] 射孔枪组件 300' 还包括射孔枪 312。射孔枪 312 可以是例如发射 16 发的选发式射孔枪。枪 312 具有相关联充料,充料爆炸从而使射孔弹从射孔枪 312 发射到周围的生产套管 350 中。典型地,射孔枪 312 包含一串成形充料,这些充料沿着射孔枪的长度分布并且根据希望的规范来定向。充料优选是被连接到单条引爆线上以确保所有充料同时引爆。适合的射孔枪的示例包括来自 Schlumberger (斯伦贝谢)的 Frac Gun[™] 和来自 Halliburton (哈里伯顿)的 G-Force[®]。

[0190] 射孔枪组件 300' 还包括位置定位器 314'。位置定位器 314' 按照同用于压裂塞组件 200' 的位置定位器 214 一样的方式进行操作。在此方面,位置定位器 314' 起到用于对射孔枪组件 300' 在生产套管 350 中的位置进行感测的位置装置的作用。更确切地说,位置定位器 314' 感测沿着井筒 350 的目标或“标签”的存在性,并且响应地产生深度信号。

[0191] 在图 3 的视图中,目标同样是套管接箍 354。这意味着位置定位器 314' 是套管接

箍定位器或“CCL”。随着其沿套管 350 向下移动,CCL 对套管接箍 354 的位置进行感测。当然,同样应当理解的是可以在射孔枪组件 300' 中采用其他传感设置,例如使用“RFID”装置。

[0192] 射孔枪组件 300' 进一步包括机载控制器 316。机载控制器 316 优选是按照同用于压裂塞组件 200' 的机载控制器 216 一样的方式进行操作。在此方面,机载控制器 316 通过使用适当逻辑单元和电源单元处理由位置定位器 314' 产生的深度信号。在一个方面中,机载控制器 316 将产生的信号与由于井筒目标(如接箍 354)而获得的预定物理签名进行比较。例如,可以在部署自主工具(如射孔枪组件 300')之前运行 CCL 测井记录以便确定套管接箍 354 的深度和 / 或间距。

[0193] 机载控制器 316 在确定自主工具 300' 已到达邻近选定感兴趣区的具体深度时激活可致动工具。这是通过使用如以下描述的统计分析来实现的。在图 3 的示例中,机载控制器 316 激活引爆线,该引爆线点燃与射孔枪 310 相关联的充料以在希望的深度或位置开始对生产套管 250 射孔。多个示意性的射孔在图 3 中以 356 示出。

[0194] 此外,机载控制器 316 可以产生一个单独信号来点燃该引爆线以导致该射孔枪的完全毁坏。这种情况以 300'' 示出。为实现这种情况,射孔枪组件 300' 的部件是由易碎材料制造的。射孔枪 312 可以是例如由陶瓷材料制造的。当爆炸时,组成射孔枪 300' 的材料可以在随后的完成阶段变成注入到裂缝中的支撑剂混合物的一部分。

[0195] 在一个方面,射孔枪组件 300' 还包括封堵球载体 318。封堵球载体 318 优选是被放置在组件 300' 的底部。组件 300' 的毁坏导致封堵球(未示出)从封堵球载体 318 释放。可替代地,机载控制器 316 可以具有计时器,该计时器用于在射孔枪 312 发射之前不久或与之同时地从封堵球载体 318 释放封堵球。如将在以下连同图 5F 和图 5G 进行更充分地描述,封堵球用于密封在该井筒中的较低深度或位置处形成的射孔。

[0196] 希望的是射孔枪组件 300' 能够提供各种安全特征以阻止射孔枪 312 的过早发射。这些补充了以上描述的定位器装置 314'。

[0197] 从图 4A 到图 4M 示范了在示例性井筒中使用压裂塞组件 200' 和射孔枪组件 300'。首先,图 4A 呈现了井场 400 的侧视图。井场 400 包括井口 470 和井筒 410。井筒 410 包括用于接收组件 200'、300' 的井身 405。井筒 410 总体上是根据图 1 的井筒 10;然而,在图 4A 示出的是,井筒 410 在地表下地质 110 中的至少感兴趣区“T”和“U”中是被完成的。

[0198] 和井筒 10 一样,井筒 410 首先是由地表套管 20 管柱形成。地表套管 20 具有与下部主压裂阀 125 密封连接的上末端 22。地表套管 20 还具有下末端 24。地表套管 20 通过周围的水泥护层 25 而被固定在井筒 410 中。

[0199] 井筒 410 还包括生产套管 30 管柱。生产套管 30 也通过周围的水泥护层 35 而被固定在井筒 410 中。生产套管 30 具有与上部主压裂阀 135 密封连接的上末端 32。生产套管 30 还具有下末端 34。生产套管 30 延伸穿过最低感兴趣区“T”、并且还穿过在区“T”上方的至少一个感兴趣区“U”。将实施的井筒作业包括顺序地对每个区“T”和“U”进行射孔。

[0200] 井口 470 被定位在井筒 410 上。井口 470 包括下部主压裂阀 125 和上部主压裂阀 135。井口 470 还包括防喷器(未示出),如图 1 中示出的防喷器 60。

[0201] 图 4A 与图 1 的区别在于井场 400 将不具有润滑器或相关联的地表设备部件。此外,没有线缆示出。实际上,操作者可以简单地将压裂塞组件 200' 和射孔枪组件 300' 投入

井筒 410 中。为适应这种情况,生产套管 30 的上末端 32 可以在下部主压裂阀 125 与上部主压裂阀 135 之间延伸地稍微更长,例如五英尺至十英尺。

[0202] 图 4B 是图 4A 的井场 400 的侧视图。在此,井筒 410 已接收了第一射孔枪组件 401。第一射孔枪组件 401 总体上是根据图 3 的射孔枪组件 300' 的各种实施例的(如以上所描述的)射孔枪组件。可以看出的是射孔枪组件 401 在井筒 410 中向下移动,如用箭头“1”表示。射孔枪组件 401 可以响应于万有引力而简单地下落通过井筒 410。此外,操作者可以通过使用地表泵(未示出)施加液压来帮助射孔枪组件 401 向下移动。可替代地,射孔枪组件 401 可以通过使用牵引器(未示出)来帮助其向下移动。在此示例中,牵引器将整个由易碎材料来制造。

[0203] 图 4C 是图 4A 的井场 400 的另一个侧视图。在此,第一射孔枪组件 401 已经在井筒 410 中下落到邻近感兴趣区“T”的位置。根据本发明,定位器装置(在图 3 中是以 314' 示出的)响应于沿生产套管 30 驻留的接箍而已经产生信号。通过这种方式,机载控制器(在图 3 中是以 316 示出的)意识到第一射孔枪组件 401 的位置。

[0204] 图 4D 是图 4A 的井场 400 的另一个侧视图。在此,射孔枪组件 401 的充料已经被引爆,从而导致射孔枪(在图 3 中是以 312 示出的)发射。沿感兴趣区“T”的套管已经被射孔。示出了一组射孔 456T,其从井筒 410 延伸并进入地表下地质 110。虽然在该侧视图中只示出了六个射孔 456T,但是可以理解的是可以形成多个额外的射孔,并且可以理解的是这样的射孔围绕生产套管 30 径向延伸。

[0205] 除产生射孔 456T 之外,射孔枪组件 401 还自毁。组件 401 留下的任何碎片将可能下落到生产套管 30 的底部 34。

[0206] 图 4E 是图 4A 的井场 400 的又一个侧视图。在此,流体在高压下正被注入到井筒 410 的井身 405 中。流体的向下移动由箭头“F”指示。流体移动穿过射孔 456T 并且进入周围的地表下地质 110。这样导致在感兴趣区“T”中形成裂缝 458T。还可以任选地将酸性溶液循环到井身 405 中以除去碳酸盐累积以及剩余的钻井泥浆,并且进一步激励地表下地质 110 以用于烃的生产。

[0207] 图 4F 是图 4A 的井场 400 的又一个侧视图。在此,井筒 410 已经接收了压裂塞组件 406。压裂塞组件 406 总体上是根据图 2 的以各种实施例的压裂塞组件 200' 的(如以上所描述的)压裂塞组件。

[0208] 在图 4F 中,压裂塞组件 406 位于它的下入(预致动)位置。压裂塞组件 406 在井筒 410 中向下移动,如用箭头“1”表示。压裂塞组件 406 可以响应于万有引力而简单地下落通过井筒 410。此外,操作者可以通过使用地表泵(未示出)施加压力来帮助压裂塞组件 406 向下移动。

[0209] 图 4G 是图 4A 的井场 400 的又一个侧视图。在此,压裂塞组件 406 已经在井筒 410 中下落到在感兴趣区“T”上方的位置。根据本发明,定位器装置(在图 2 中是以 214 示出的)已经响应于沿生产套管 30 驻留的接箍而生成信号。通过这种方式,机载控制器(在图 2 中是以 216 示出的)意识到压裂塞组件 406 的位置。

[0210] 图 4H 是图 4A 的井场 400 的另一个侧视图。在此,压裂塞组件 406 已经被设定。这意味着机载控制器已经产生信号以使得设定工具(在图 2 中是以 212 示出的)与密封元件(在图 2 中是以 211' 示出的)和卡瓦(以 213'' 示出的)一同激活以便设定并且密封压裂

塞组件 406 于井筒 410 的井身 405 中。在图 4H 中,压裂塞组件 406 已经被设定在感兴趣区“T”上方。这样允许对感兴趣区“U”进行隔离以用于下一射孔阶段。

[0211] 图 4I 是图 4A 的井场 400 的另一个侧视图。在此,井筒 410 正在接收第二射孔枪组件 402。第二射孔枪组件 402 可以被构造和安排成与第一射孔枪组件 401 一样。这意味着第二射孔枪组件 402 也是自主的。

[0212] 在图 4I 中可以看出的是第二射孔枪组件 402 在井筒 410 中正在向下移动,如用箭头“I”表示。第二射孔枪组件 402 可以响应于万有引力而简单地下落通过井筒 410。此外,操作者可以通过使用地表泵(未示出)施加压力来帮助射孔枪 402 向下移动。可替代地,射孔枪 402 可以通过使用牵引器(未示出)来辅助其向下移动。在这样的示例中,牵引器将整个地由易碎材料来制造。

[0213] 图 4J 是图 4A 的井场 400 的另一个侧视图。在此,第二射孔枪组件 402 已经在该井筒中下落到邻近感兴趣区“U”的位置。感兴趣区“U”在感兴趣区“T”之上。根据本发明,定位器装置(在图 3 中是以 314' 示出的)已经响应于沿生产套管 30 放置的标签产生信号。通过这种方式,机载控制器(在图 3 中是以 316 示出的)知道第一射孔枪组件 401 的位置。

[0214] 图 4K 是图 4A 的井场 400 的另一个侧视图。在此,第二射孔枪组件 402 中的充料已经被引爆,从而导致该射孔枪组件的射孔枪发射。感兴趣区“U”已经被射孔。示出了一组射孔 456U,其从井筒 410 延伸并进入地表下地质 110。虽然在侧视图中只示出了六个射孔 456U,但是可以理解的是形成额外的射孔,并且可以理解的是这样的射孔将围绕生产套管 30 径向延伸。

[0215] 除产生射孔 456U 之外,第二射孔枪组件 402 还自毁。组件 402 留下的任何碎片将可能下落到被设定在生产套管 30 中的塞组件 406。

[0216] 在此指出的是图 4J 和图 4K 中的射孔步骤可以在图 4H 和图 4I 的塞设定步骤之前进行。这是操作者自由裁量权范围内的事项。

[0217] 图 4L 是图 4A 的井场 400 的又一个侧视图。在此,流体在高压下正被注入到井筒 410 的井身 405 中。流体注射导致感兴趣区“U”内的地表下地质 110 被压裂。流体的向下移动由箭头“F”指示。流体移动通过射孔 456A 并且进入周围的地表下地质 110。这样导致在感兴趣区“U”中形成裂缝 458U。还可以任选地将酸性溶液循环到井身 405 中以去除碳酸盐累积和剩余的钻井泥浆,并且进一步激励地表下地质 110 以用于烃的生产。

[0218] 最后,图 4M 提供了图 4A 的井场 400 的最后侧视图。在此,压裂塞组件 406 已经从井筒 410 移除。此外,井筒 410 现正在接收生产流体。箭头“P”指示生产流体从地表下地质 110 进入井筒 410 并朝向地表 105 的流动。

[0219] 为移除塞组件 406,机载控制器(在图 2 中是以 216 示出的)可以在指定时间段之后释放(带有图 2 中的卡瓦 213'' 的)塞体 210''。压裂塞组件 406 之后可以回流到地表 105 并且通过清管器接收器(未示出)或其他此类装置来取回。可替代地,机载控制器 216 可以被编程为使得在指定时间段之后点燃引爆线,于是这会导致压裂塞组件 406 爆炸并自毁。在这样的设置中,整个压裂塞组件 406 是由易碎材料制造的。

[0220] 从图 4A 到图 4M 示范了使用带有压裂塞的射孔枪组件在示意性井筒 410 内对两个单独的感兴趣区(区“T”和“U”)进行射孔和激励。在此示例中,第一射孔枪组件 401 和第二射孔枪组件 402 两者都是自主的,并且压裂塞组件 406 也是自主的。然而,有可能通过使

用传统线缆来用选发式射孔枪组件对最下面的或终端的区“T”进行射孔,但是之后使用自主射孔枪组件对在终端区“T”上方的多个区进行射孔。

[0221] 有线工具和无线工具的其他组合可以在本发明的精神范围内使用。例如,操作者可以在线缆上将压裂塞下入到井筒中,然而使用一个或更多个自主射孔枪组件。相反地,操作者可以在线缆上将相应射孔枪组件下入到井筒中,然而使用一个或更多个自主压裂塞组件。

[0222] 在另一种设置中,射孔步骤可以在没有压裂塞组件的情况下实现。从图 5A 到图 5I 示范了如何通过使用可毁坏的、自主的射孔枪组件和封堵球在井筒中对多个感兴趣区进行顺序地射孔和处理。首先,图 5A 是井筒 500 的一个部分的侧视图。井筒 500 是在多个感兴趣区中被完成的,包括区“A”、“B”和“C”。感兴趣区“A”、“B”和“C”驻留在包含烃流体的地表下地质 510 内。

[0223] 井筒 500 包括生产套管(或可替代的,衬柱)520 管柱。生产套管 520 已经被水泥浇注到地表下地质 510 中以便对感兴趣区“A”、“B”和“C”以及沿地表下地质 510 的其他地层进行隔离。水泥护层在 524 处可见。

[0224] 生产套管 520 具有沿其放置的一系列定位器标签 522。定位器标签 522 理想的是被嵌入到生产套管 520 的壁中以保持它们的完整性。然而,为展示性目的,定位器标签 522 在图 5A 中示出为沿生产套管 520 的内直径的附附件。在图 5A 的设置中,定位器标签 512 代表由 RFID 阅读器/天线感测的无线射频识别标签。定位器标签 522 产生了沿井筒 500 的物理签名。

[0225] 应指出的是定位器标签 522 还可以是套管接箍。在这样的示例中,套管接箍将使用 CCL 传感器而不是 RFID 阅读器/天线来感测。为了从图 5A 到图 5I 的示意性目的,定位器标签将被称作套管接箍。

[0226] 井筒 500 是用于烃的生产而形成的井的一部分。作为完井工艺的一部分,希望的是对每个感兴趣区“A”、“B”和“C”进行射孔并且然后压裂。

[0227] 图 5B 是图 5A 的井筒 500 的另一个侧视图。在此,井筒 500 已经接收第一射孔枪组件 501。第一射孔枪组件 501 总体上是根据图 3 的射孔枪组件 300' (以各种实施例)的射孔枪组件。在图 5B 中,射孔枪组件 501 正沿井筒 500 向下泵送。射孔枪组件 501 已经被投入到井筒 500 的井身 505 中,并且通过万有引力和液压的组合而正沿井筒 500 向下移动。箭头“1”指示射孔枪组件 501 的移动。

[0228] 图 5C 是图 5A 的井筒 500 的下一侧视图。在此,第一射孔枪组件 501 已经下落到井身 505 中到达邻近感兴趣区“A”的位置。根据本发明,定位器装置(在图 3 中是以 314' 示出的)已经响应于沿生产套管 30 放置的接箍 522 产生信号。通过这种方式,机载控制器(在图 3 中是以 316 示出的)意识到第一射孔枪组件 501 的位置。

[0229] 图 5D 是图 5A 的井筒 500 的另一个侧视图。在此,第一射孔枪组件的充料已经被引爆,从而导致该射孔枪组件的射孔枪发射。感兴趣区“A”已经被射孔。示出了一组射孔 526A,其从井筒 500 延伸并进入地表下地质 510。虽然在侧视图中只示出了六个射孔 526A,但是可以理解的是形成额外的射孔,并且可以理解的是这样的射孔可以围绕生产套管 30 径向延伸。

[0230] 除产生射孔 526A 之外,第一射孔枪组件 501 还自毁。组件 501 留下的任何碎片将

可能下落到生产套管 30 的底部。

[0231] 图 5E 是图 5A 的井筒 500 的又一个侧视图。在此,流体在高压下正被注入到该井筒的井身 505 中,从而导致感兴趣区“A”中的地层被压裂。流体的向下移动由箭头“F”指示。流体移动穿过射孔 526A 并且进入周围的地表下地质 510。这样导致在感兴趣区“A”中形成裂缝 528A。还可以任选地将酸性溶液循环到井身 505 中以便溶解钻井泥浆并且去除碳酸盐累积并且进一步激励地表下地质 510 以用于烃的生产。

[0232] 图 5F 是图 5A 的井筒 500 的又一个侧视图。在此,井筒 500 已经接收了第二射孔枪组件 502。第二射孔枪组件 502 可以被构造和设置成与第一射孔枪组件 501 一样。这意味着第二射孔枪组件 502 也是自主的、并且也是由易碎材料构成的。

[0233] 在图 5F 中可以看出的是第二射孔枪组件 502 在井筒 500 中正在向下移动,如用箭头“I”表示。第二射孔枪组件 502 可以响应于万有引力而简单地下落通过井筒 500。此外,操作者可以通过使用地表泵(未示出)施加液压来帮助射孔枪组件 502 向下移动。

[0234] 除射孔枪组件 502 之外,封堵球 532 已经被投入到井筒 500 中。封堵球 532 优选是在第二射孔枪组件 502 之前投放。任选地,封堵球 532 是从球容器(在图 3 中是以 318 示出的)释放。封堵球 532 是由复合材料制造的并且被橡胶涂覆。封堵球 532 的尺寸被确定为堵塞射孔 526A。

[0235] 封堵球 532 旨在用作转向中介。使用封堵球作为用于多个射孔层段增产的转向中介的概念是已知的。封堵球 532 将安放在射孔 526A 上,由此堵塞射孔 526A 并且允许操作者将压力下的流体注入到在射孔 526A 上方的区中。封堵球 532 提供一种低成本的转向技术,具有低风险的机械问题。

[0236] 图 5G 是图 5A 的井筒 500 的又一个侧视图。在此,第二压裂塞组件 502 已经下落到井筒 500 中到达邻近感兴趣区“B”的位置。此外,封堵球 532 临时堵塞沿感兴趣区“A”的新形成的射孔。封堵球 532 随后将与生产烃一同流出或者掉到该井底部一个熟知为鼠洞(或碎屑洞)的区域内。

[0237] 图 5H 是图 5A 的井筒 500 的另一个侧视图。在此,第二射孔枪组件 502 的充料已经被引爆,从而导致射孔枪组件 502 的射孔枪发射。感兴趣区“B”已经被射孔。示出了一组射孔 526B,其从井筒 500 延伸并进入地表下地质 510。虽然在侧视图中只示出了六个射孔 526B,但是可以理解的是形成额外的射孔,并且可以理解的是这样的射孔将围绕生产套管 520 径向延伸。

[0238] 除产生射孔 456B 之外,射孔枪组件 502 还自毁。组件 501 留下的任何碎片将可能下落到生产套管 520 的底部或者随后回流到地表。

[0239] 在图 5H 中应指出的是在正形成这些射孔 526B 的同时流体连续注入井筒 500 的井身 505 中。流体流动由箭头“F”指示。由于封堵球 532 基本上堵塞沿区“A”的较低射孔,所以能够在井筒 500 中累积压力。一旦对射孔 526B 射击射孔弹,则流体逃离井筒 500 并且侵入区“B”内的地表下地质 510。这样立即产生了裂缝 528B。

[0240] 可以理解的是用于沿感兴趣区“B”形成射孔 526B 和地层裂纹 528B 的过程可以重复进行以便在感兴趣区“C”中以及在其他更高的感兴趣区中形成射孔和地层裂纹。这将包括:在区“B”沿射孔 528B 放置封堵球,使第三自主射孔枪组件(未示出)下入井筒 500 中,导致该第三射孔枪组件沿感兴趣区“C”爆炸,并且沿区“C”产生射孔和地层裂纹。

[0241] 图 5I 提供了图 5A 的井筒 500 的最后侧视图。在此,生产套管 520 已经沿感兴趣区“C”被射孔。可看见多组射孔 526C。此外,地层裂纹 528C 已经被形成在地表下地质 510 中。

[0242] 在图 5I 中,井筒 500 已经被置于生产。封堵球已经被去除并且已经流动到地表。地层流体正在流动到井身 505 中并且沿井筒 500 向上流。箭头“P”指示流体朝向地表的流动。

[0243] 从图 5A 到图 5I 示范了在每个射孔枪组件的机载控制器被编程为用于在不同选定深度点火其相应充料的情况下射孔枪组件如何被顺序地投入到一个井筒 500 中。在图 5A 到图 5I 的描述中,射孔枪组件被投放成使得最低区(区“A”)首先被射孔,按顺序紧随其后的是较浅的区(区“B”并且然后是区“C”)。然而,使用自主射孔枪组件,操作者可以以任何顺序对地表下地质区进行射孔。有利的是,射孔枪组件可以被投放成使得从顶部向下对地表下地质区射孔。这意味着射孔枪组件会在较深区爆炸之前先在较浅区爆炸。

[0244] 还应指出的是从图 5A 到图 5I 示范了使用是自主工具组件的射孔枪组件和压裂塞组件。然而,额外的可致动工具可用作自主工具组件的一部分。这样的工具包括例如桥塞、切削工具、水泥承留器以及套管补贴器。在这些设置中,这些工具将被投放或泵送或运载到被构造成用于生产烃流体或用于注射流体的井筒中。工具可以由易碎材料制造或者由可铣材料制造。

[0245] 作为使用单独的压裂塞和射孔枪组件的替代,压裂塞组件 200' 和射孔枪组件 300' 的组合可以被部署在一起作为自主单元。这样的组合进一步优化了设备的使用。在这个组合中,压裂塞组件 200' 被设定,之后射孔枪组件 300' 的射孔枪在该塞组件上方直接发射。

[0246] 图 6A 和图 6B 示范了这样的一种设置。首先,图 6A 提供了井筒 650 的下部部分的侧视图。示意性的井筒 650 在单个区中被完成。生产套管的管柱以 652 示意性地示出,而套管接箍以 654 可见。自主工具 600' 已经被投放、沿井筒 650 向下通过生产套管 652。箭头“1”指示工具 600' 向下行进通过井筒 650 的移动。

[0247] 自主工具 600' 代表组合的塞组件和射孔枪组件。这意味着这个单个工具 600' 包括分别来自图 2 和图 3 的塞组件 200' 和射孔枪组件 300' 两者的部件。

[0248] 首先,自主工具 600' 包括塞体 610'。塞体 610' 优选是将限定弹性密封元件 611' 和一组卡瓦 613'。自主工具 600' 还包括设定工具 620'。设定工具 620' 将对弹性密封元件 611' 和卡瓦 613' 进行致动,并且使它们径向平移以接触套管 652。

[0249] 在图 6A 的视图中,还没对塞体 610' 进行致动。因此,工具 600' 位于下入位置。在作业过程中,塞体 610' 的密封元件 611' 可以响应于在套筒内的移位或现有技术中已知手段而机械性膨胀。这种情况允许密封元件 611' 提供抵靠套管 652 的流体密封。在同一时间,塞体 610' 的卡瓦 613' 从组件 600' 沿楔形件(未示出)向外延伸,这些楔形件围绕组件 600' 径向间隔开。这种情况允许卡瓦 613' 径向延伸并且“咬”入套管 652 中,从而使工具组件 600' 抵抗向下的液压力而固定就位。

[0250] 自主工具 600' 还包括位置定位器 614。位置定位器 614 起到感测工具 600' 在生产套管 650 中的位置的位置装置的作用。更确切地说,位置定位器 614 感测到沿着井筒 650 的目标或“标签”的存在性,并且响应地产生深度信号。在图 6A 的视图中,目标是套管接箍

654。这意味着位置定位器 614 是套管接箍定位器或“CCL”。随着其沿井筒 650 向下移动，CCL 对套管接箍 654 的位置进行感测。

[0251] 工具 600' 还包括射孔枪 630。射孔枪 630 可以是例如发射 16 发的选发式射孔枪。和图 3 的射孔枪 312 一样，射孔枪 630 具有相关联的充料，充料爆炸从而致使多发射孔弹发射到周围的生产套管 650 中。典型地，射孔枪 630 包含一串成形的充料，这些充料沿着该枪的长度分布并且根据希望的规范来定向。

[0252] 自主工具 600' 还任选地包括打捞颈 605。打捞颈 605 被确定尺寸和构造起到匹配井下打捞工具(未示出)的阳螺纹部分的作用。打捞颈 605 允许操作者在自主工具 600 陷入井筒 600' 中或射孔枪 630 未能成功爆炸的这些不大可能的事件中取回该自主工具。

[0253] 自主工具 600' 进一步包括机载控制器 616。机载控制器 616 处理由位置定位器 614 产生的深度信号。在一个方面中，机载控制器 616 对产生的信号与由井筒目标而获得的预定物理签名进行比较。例如，CCL 测井记录可以在部署自主工具 600 之前运行，以便确定套管接箍 654 的间距。套管接箍 654 的对应深度可以基于拉动 CCL 测井装置的线缆的长度和速度来确定。

[0254] 一旦确定自主工具 600' 已经到达选定深度，机载控制器 616 激活设定工具 620。这导致塞体 610 以希望的深度或位置被设定在井筒 650 中。

[0255] 图 6B 是图 6A 的井筒的侧视图。在此，自主工具 600'' 已经达到选定深度。选定深度以括号 675 指示。机载控制器 616 已经向设定工具 620'' 发送信号以对塞体 610' 的弹性圈 611'' 和卡瓦 613'' 进行致动。

[0256] 在图 6B 中，塞体 610'' 被示为膨胀状态。在这方面，弹性密封元件 611'' 膨胀成与周围的生产套管 652 密封接合，并且卡瓦 613'' 膨胀成与周围的生产套管 652 机械接合。密封元件 611'' 提供密封圈，而卡瓦 613'' 提供能“咬”入套管 650 的内直径中的槽或齿。

[0257] 在自主工具 600'' 已经被设定后，机载控制器 616 发送信号以点火在射孔枪 630 中的充料。射孔枪 630 产生在选定深度 675 处穿过生产套管 652 的射孔。因此，在图 6A 和图 6B 的设置中，设定工具 620 和射孔枪 630 一同限定了可致动工具。

[0258] 图 7 是示出一种用于通过使用自主工具来完成井筒的方法 700 的实施例的步骤的流程图。根据方法 700，该井筒是沿多个感兴趣区被完成的。生产套管(或衬套)的管柱已经下入该井筒中，并且该生产套管已经被水泥浇注就位。

[0259] 方法 700 首先包括提供第一自主射孔枪组件。这在框 710 中示出。该第一自主射孔枪组件是根据以上用各种实施例描述的射孔枪组件 300' 来制造的。该第一自主射孔枪组件基本上是由易碎材料制造的，并且被设计成优选是在充料爆炸时自毁。

[0260] 方法 700 其次包括将该第一射孔枪组件部署到该井筒中。这在框 720 可见。该第一射孔枪组件被构造成探测沿着该井筒的第一选定感兴趣区。因此，随着该第一射孔枪组件被泵送或以其他方式沿该井筒下落，该组件将监测其深度或以其他方式确定其何时到达该第一选定感兴趣区。

[0261] 方法 700 还包括探测沿着该井筒的第一选定感兴趣区。这在框 730 可见。在一个方面中，通过预加载该井筒的物理签名来实现探测。该射孔枪组件在其穿行该井筒时试图匹配这个签名。该射孔枪组件最终通过匹配该物理签名而探测出该第一选定感兴趣区。可以例如通过对套管接箍进行计数或者通过接箍模式匹配算法来匹配该签名。

[0262] 方法 700 进一步包括沿该第一感兴趣区发射射孔弹。这在框 740 提供。发射射孔弹产生射孔。射孔弹穿透周围的生产套管的管柱并且延伸进入地表下地层。

[0263] 方法 700 还包括提供第二自主射孔枪组件。这在框 750 可见。该第二自主射孔枪组件也是根据以上用各种同实施例描述的射孔枪组件 300' 来制造的。该第二自主射孔枪组件也基本上是由易碎材料制造的, 并且被设计成在充料爆炸时自毁。

[0264] 方法 700 进一步包括将该第一射孔枪组件部署到该井筒中。这在框 760 可见。该第二射孔枪组件被构造成探测沿着该井筒的第二选定感兴趣区。因此, 随着该第二射孔枪组件被泵送或其他方式沿该井筒下落, 其将监测其深度或其他方式确定该组件何时到达该第二选定感兴趣区。

[0265] 方法 700 还包括探测沿着该井筒的第二选定感兴趣区。这在框 770 可见。在一个方面中, 同样通过预加载该井筒的物理签名来实现探测。该射孔枪组件在其穿行该井筒时试图匹配签名。该射孔枪组件最终通过匹配该物理签名而探测出该第二选定感兴趣区。

[0266] 方法 700 进一步包括沿该第二选定感兴趣区发射射孔弹。这在框 780 中提供。发射射孔弹产生射孔。这些射孔弹穿透周围的生产套管的管柱并且延伸进入地表下地层。优选的是, 该第二感兴趣区在该第一感兴趣区之上, 不过它也可以在该第一感兴趣区之下。

[0267] 方法 700 可以任选地包括在高压下注入液压流体以压裂地层。这在框 790 示出。可以通过引导流体穿过沿该第一选定感兴趣区的射孔、通过引导流体穿过沿该第二选定感兴趣区的射孔或者通过这两者来压裂地层。优选的是, 该流体包含支撑剂。

[0268] 在多个感兴趣区被射孔和压裂的情况下, 希望的是采用转向中介。可接受的转向中介可以包括以上描述的自主压裂塞组件 200' 和以上描述的封堵球 532。封堵球被泵送到井下以对射孔进行密封, 并且封堵球可以被放置在前导冲洗容积中。在一个方面中, 封堵球在容器内被运载到井下, 并且通过来自在该第二射孔枪组件下方的机载控制器的命令而被释放。

[0269] 从框 750 到框 790 的步骤可以重复进行很多次以用于多个感兴趣区。不是每组射孔都需要转向技术, 而是转向技术可只在一些区已经射孔之后被使用。

[0270] 方法 700 适用于竖直、倾斜以及水平完井。井的类型将确定自主工具的传送方法以及顺序。在竖直和小角度井中, 重力可以足够用于确保将组件传送到希望的深度或区。在较大角度的井(包括水平完井)中, 组件可以被向下泵送或通过使用牵引器来传送。为确保第一组件的向下泵送, 套管可以在该井的趾部被射孔。

[0271] 还应指出的是方法 700 适用于完成生产井和注射井两者。

[0272] 上述工具和方法涉及自主工具, 即不从地表致动的工具。这种自主工具同样会是包括可致动工具的工具组件。该工具组件还包括位置装置。该位置装置用于基于沿井筒提供的物理签名感测可致动工具在该井筒中的位置。该位置装置和对应物理签名可以根据以上描述的关于自主工具组件 200' (图 2) 和 300' (图 3) 的实施例来进行操作。例如, 该位置装置可以是接箍定位器, 并且该签名是由沿着该管状体的接箍的间距来形成的, 其中接箍由该接箍定位器进行感测。

[0273] 该工具组件进一步包括机载控制器。该机载控制器被构造成用于在该位置装置基于物理签名已经识别出该工具的选定位置时向该工具发送致动信号。可致动工具被设计成将响应于该致动信号而被致动以执行井筒作业。

[0274] 在一个实施例中,可致动工具进一步包括引爆装置。在这个实施例中,该工具组件是由易碎材料制造的。该机载控制器进一步被构造成在该机载控制器装备好之后的指定时间向该引爆装置发送引爆信号。可替代地,该工具组件响应于对可致动工具的致动而自毁。这可以用在该可致动工具是射孔枪的情况。在以上任一情况中,该工具组件可以自毁。

[0275] 在一种设置中,可致动工具是压裂塞。该压裂塞被构造成在管状体中于选定位置处被致动时形成基本流体密封。该压裂塞包括用于将该工具组件的位置保持成紧邻选定位置的弹性密封元件和一组卡瓦。

[0276] 在另一种设置中,可致动工具是桥塞。在此,该桥塞被构造成在管状体中于选定位置处被致动时形成基本流体密封。该工具组件是由可铣材料制造的。该桥塞包括用于将该工具组件的位置保持成紧邻选定位置的弹性密封元件和一组卡瓦。

[0277] 其他工具可以起到可致动工具的作用。这些工具可以包括套管补贴器和水泥承留器。这些工具可以由可铣材料制造的,如陶瓷、酚醛树脂、复合物、铸铁、黄铜、铝或者它们的组合。

[0278] 在上述的用于自主工具(200',300',610')的每个实施例中,机载控制器可以被预编程为具有正在完成的井筒的物理签名。这意味着基准 CCL 测井记录在部署自主工具之前运行,以便确定套管接箍的特有间距。来自 CCL 测井记录的磁信号被转化为由数字值构成的适当数据集。数字数据集之后被预加载到该控制器中。

[0279] 该 CCL 测井记录使接箍位置与深度相关联。操作者可以选择在该井筒中的用于对井下工具进行致动的位置。为了感测套管接箍的位置,可以为该控制器提供一种算法以便可以在该井筒中的适当深度发送致动信号以对井筒装置进行致动。这样的装置可以例如是压裂塞或射孔枪。

[0280] 套管接箍定位器通过对沿套管壁的磁通量的变化进行感测来操作。这样的变化是由形成该套管的接头的金属管的厚度差异所引起的。这些壁厚的变化引起电流在电线中或沿线圈流动。该套管接箍定位器探测这些变化并且将它们记录成磁信号。

[0281] 应指出的是 CCL 将携带其自身的处理器。该处理器通过使用模拟-数字转换器而将记录的磁信号转化成数字形式。这些信号可以之后被上传以用于回顾并且被保存为该井的文件的一部分。

[0282] 已知的是结合完成或维护井来参考 CCL 测井记录。该 CCL 测井记录提供数字数据集,该数字数据集可以用作放置射孔或井下装备的参考点。然而,在此提出的是使用套管接箍定位器来作为自主工具的一部分。随着该自主工具被部署到井筒中,其生成第二 CCL 测井记录。

[0283] 自主工具具有处理器,该处理器接收来自机载套管接箍定位器的磁信号。该处理器储存这些信号以作为第二 CCL 数据集。该处理器被编程为通过使用移动窗口式统计分析来对该第二 CCL 数据集中的信号进行变换。此外,该处理器在该井下工具的部署过程中递增地对变换后的 CCL 测井记录与该第一 CCL 测井记录进行比较。该处理器之后使得表示套管接箍位置的测井记录之间的值相关联。通过这种方式,该自主工具在所有时间都知道其沿着该井筒的位置。

[0284] 图 8 提供了示出用于一种对井下工具进行致动的方法 800 的一般步骤的一个流程图。方法 800 在作为下套管的井眼完成的井筒中实施。

[0285] 方法 800 首先包括从井筒获取 CCL 数据集。这在框 810 中示出。该 CCL 数据集是通过在线缆上下入该井筒中的 CCL 来获得的。该线缆可以是例如钢丝、绞股钢丝绳、电线或其他线。该 CCL 数据集代表了用于该井筒的第一 CCL 测井记录。

[0286] 该第一 CCL 测井记录提供了该井筒的物理签名。在此方面,该 CCL 测井记录根据由沿给该井筒加衬的管提供的特有间距而使套管接箍位置与深度相关联。任选地,该管包括处于不规则间隔的短接头以便起到验证性核对的作用。

[0287] 方法 800 还包括选择用于对井筒装置进行致动的在该井筒中的一个位置。这在框 820 提供。该井筒装置可以例如是射孔枪或压裂塞。该位置是参照该第一 CCL 测井记录而选定的。

[0288] 方法 800 之后包括将该第一 CCL 测井记录下载到处理器中。这在框 830 示出。该处理器是作为自主工具的一部分的机载控制器。该自主工具还包括可致动井筒装置。因此,在该井筒装置是射孔枪的情况下,该自主工具是射孔枪组件。

[0289] 方法 800 之后包括将该井下自主工具部署到该井筒中。这在框 840 表示。该井下工具包括处理器、套管接箍定位器以及可致动井筒装置。任选地,该井下工具还包括电池组和打捞颈。

[0290] 最后,方法 800 包括发送致动信号以对可致动井筒装置进行致动。这在框 850 提供。该信号是从该处理器发送到该井筒装置。在该井筒装置是射孔枪的情况下,该射孔枪被引爆,从而导致在该套管中形成射孔。

[0291] 如框 850 中所表示,在选定位置致动该井筒装置。这是在框 820 中选定的位置。为了使处理器知道何时发送致动信号,对该处理器进行预编程。

[0292] 图 9 提供了如可用于对该井下工具进行致动的一种算法的特征。该算法以多个步骤的形式被总体上以 900 提供。首先,该处理器被编程为用于记录磁信号。记录磁信号的步骤在框 910 示出。在该井下工具被部署的情况下,信号通过该套管接箍定位器来获得。确切的说,随着该井下工具横穿沿着该井筒的套管接箍,连续地对信号进行记录,举例如 150 次每秒地记录。磁信号形成第二 CCL 测井记录。

[0293] 步骤 900 之后包括对该第二测井记录的第二 CCL 数据集进行变换。这在框 920 表示。通过应用移动窗口式统计分析来变换该第二 CCL 数据集。

[0294] 图 10 提供了可用于应用该移动窗口式统计分析的步骤列表。这些步骤总体上以 1000 示出并且代表了一种算法。应用该移动窗口式统计分析允许算法 1000 确定处于其变换状态后的磁信号是否超过指定阈值。如果信号值超过该阈值的话,则它们被标记为一个套管接箍的潜在开始。

[0295] 在实施算法 1000 的过程中,特定运行参数被首先确定。这在框 1010 提供。所述运行参数与窗口式平均值和协方差矩阵的计算有关。

[0296] 图 11 提供对于运行参数所做出的确定 1100 的流程图。所述运行参数中的一个参数涉及所谓的“模式窗口”。该模式窗口(W)是由该 CCL 传感器记录的一组磁信号值。操作者必须确定模式窗口的窗口大小(W')。这在框 1110 可见。

[0297] 优选的是该模式窗口(W)的尺寸被确定为覆盖小于一个接箍的数据。这个确定取决于在该自主工具横穿接箍时该 CCL 传感器的速度。典型地,模式窗口大小(W')是大约 10 个样本。作为举例,如果该工具以 10 英尺/秒行进的话,并且如果该传感器以每秒 10 个样

本采样的话,并且如果一个接箍的长度是 1 英尺的话,则该模式窗口(W)可以具有大约是 5 的尺寸(W')。更典型地,该传感器可以以每秒 20 个样本至 40 个样本进行采样,并且该模式窗口大小(W')则将是大约 10 个样本。

[0298] 来自算法 1000 的运行参数中的另一个是采样速率。限定采样速率的步骤在框 1120 示出。在一个方面中,采样速率不大于每秒 1000 个样本,或者优选的是不大于每秒 500 个样本。

[0299] 理想的是,采样速率与该自主工具在井筒中的速度相关联。优选的是,该速率足够在一个峰值内捕获大约 3 个至 40 个样本。换一种表述方式,该采样速率使得在该工具横穿一个接箍时捕获大约 3 个至 40 个信号。作为举例,如果该工具以 10 英尺/秒行进的话,并且如果一个接箍的长度是 1 英尺的话,则该采样速率优选是大约每秒 30 个至 400 个样本。

[0300] 来自算法 1000 的运行参数中的另一个是存储器参数 μ 。限定存储器参数 μ 的步骤在框 1130 提供。存储器参数 μ 确定有多少个信号被计算平均值以作为在该算法中的移动平均技术的一部分。典型地,存储器参数 μ 大约为 0.1。这还是一个单个无量纲的数。

[0301] 存储器参数 μ 的值还取决于自主工具的平均速度。存储器参数 μ 的值进一步取决于形成算法 1000 的存储器的时间量。如果模式窗口大小(W')是 10 的话,并且如果存储器参数 μ 是 0.1 的话,则储存在存储器中用于运行该算法的样本数目可被计算为:

[0302]

$$\text{数目} = W' * \frac{1}{\mu}$$

[0303]
$$= 10 * \frac{1}{0.1}$$

[0304]
$$= 100$$

[0305] 在这个说明性的等式中,算法 1000 在应用该移动窗口式统计分析过程中(例如在以下讨论的确定留数(t)过程中)将储存最后 100 个样本。

[0306] 作为一个替代,算法 1000 可以只储存最后 10 个磁信号样本,但是之后使用存储器参数 μ 来对最近的模式窗口样本进行加权。然后将其添加到移动平均值 $m(t+1)$ 和移动协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$,以下将进行描述。

[0307] 用于算法 1000 的另一个运行特征涉及预设定峰值检测阈值。预设定峰值检测阈值在框 1140 中示出。操作者可以设定何时该自主工具被首次部署的初始阈值。在该自主工具初始投入后紧接的时间内,算法 1000 可以启动校准阶段。在校准阶段期间,该处理器开始收集磁信号数据。该处理器之后调整预设定峰值检测阈值。这将允许更稳健的峰值检测。

[0308] 又一个运行特征涉及用于控制决定的工具位置的选择。这是在框 1150 呈现。例如,如果井下工具是射孔枪的话,则框 1150 的步骤将包括选择该射孔枪要引爆充料所在的一个位置。如果该井下工具是(或者是包括)压裂塞的话,则框 1150 的步骤将包括选择在该井筒中将要设定该压裂塞所处的一个位置。

[0309] 回到图 10,算法步骤 1000 还包括计算移动窗口式平均值 $m(t+1)$ 。这在框 1020 提供。移动平均值 $m(t+1)$ 代表针对模式窗口(W)的磁信号值的移动平均值。要注意的是,优选的不是针对每个单独的模式窗口(W)并且不需要针对每个单独的模式窗口获取一个平均

值；反而是这些单独的模式窗口值（例如， $\{x_2, x_3, x_4, \dots, x_{W+1}\}$ ）被在置于一个向量形式。之后，随时间不断地对移动平均值 $m(t+1)$ 进行计算。

[0310] 移动平均值 $m(t+1)$ 优选是向量形式的。进一步地，移动平均值 $m(t+1)$ 优选是指数加权的移动平均值。移动平均值 $m(t+1)$ 可根据以下等式来进行计算：

$$[0311] \quad m(t+1) = \mu y(t+1) + (1-\mu)m(t)$$

[0312] 其中 $y(t+1)$ 是在最近的模式窗口 ($W+1$) 中的磁信号值的序列，并且

[0313] $m(t)$ 是针对前一模式窗口 (W) 的磁信号值的平均值。

[0314] 通过进一步说明的方式， $y(t)$ 代表在一个模式窗口中的多个磁信号值的集合， $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_W\}$ 。这是向量形式的。这暗示着 $y(t+1)$ 代表在下一模式窗口中的多个磁信号值的集合， $\{x_2, x_3, x_4, \dots, x_{W+1}\}$ 。 $m(t)$ 因此是一个连续地得到更新的向量，且该向量优选是该模式窗口的一个指数加权的移动平均值。

[0315] 图 10 的这些算法步骤 1000 还包括对移动窗口式二阶矩 $A(t+1)$ 进行计算。这在框 1030 表示。移动二阶矩 $A(t+1)$ 也是向量形式的。优选的是，该移动二阶矩是一个指数加权的平均值，其根据以下等式进行计算：

$$[0316] \quad A(t+1) = \mu y(t+1) \times [y(t+1)^T + (1-\mu)A(t)].$$

[0317] 在一般术语中，二阶矩是数据的乘积。一般形式是：

$$[0318] \quad A(t) = m(t) * m(t)^T$$

[0319] 其中 $m(t)^T$ 是 $m(t)$ 的转置。

[0320] 图 10 的算法步骤 1000 还包括计算移动窗口式协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$ 。这在框 1040 可见。协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$ 可根据以下等式来进行计算：

$$[0321] \quad \Sigma(t+1) = A(t+1) - m(t+1) \times [m(t+1)]^T.$$

[0322] 协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$ 被连续更新，意味着该矩阵是一个移动向量。

[0323] 应指出的是在对移动平均值 $m(t+1)$ 和移动协方差矩阵 $\Sigma(t+1)$ 进行计算的过程中，应当设定某些初始值。因此，例如，操作者应当限定：

$$[0324] \quad m(W) = y(W),$$

[0325] 其中 $m(W)$ 是用于第一模式窗口 (W) 的平均值 $m(t)$ ，并且

[0326] $y(W)$ 是 $m(W)$ 的转置；

[0327] 操作者还可以限定：

$$[0328] \quad \text{当部署井下工具时, } y(W) = [x_1, x_2, x_3, \dots, x(W)]^T,$$

[0329] 其中 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_W$ 代表在一个模式窗口 (W) 中的多个磁信号值。

[0330] 操作者还可以将 $\Sigma(W)$ 限定为一个零矩阵。

[0331] 图 10 的算法步骤 1000 还包括计算留数值 $R(t)$ 。这在框 1050 提供。留数 $R(t)$ 提供了对属于一个统计分布的两个向量进行比较的手段。留数 $R(t)$ 代表在最近的模式窗口 (W) 与当前的移动平均值 $m(t+1)$ 之间的马氏 (Mahalonobis) 距离，并且可根据以下等式进行计算：

$$[0332] \quad R(t) = [y(t) - m(t-1)]^T \times [\Sigma(t-1)^{-1}x[y(t) - m(t-1)]]$$

[0333] 其中 $R(t)$ 是一个单个无量纲的数

[0334] $y(t)$ 是一个向量，其代表用于当前模式窗口 (W) 的多个磁信号值的集合，并且

[0335] $m(t-1)$ 是一个向量，其代表用于前一模式窗口 (W) 的多个磁信号值的集合的平

均值。

[0336] 应指出的是,除非已经获取的样本的数目 (t) 大于该模式窗口 (W) 大小 (W') 的两倍,否则算法 1000 不对留数值 $R(t)$ 进行计算。这可以表示为:

[0337] $t > 2 * W$ 。

[0338] 原因是因为协方差矩阵 Σ 在计算留数 $R(t)$ 时被倒置(以上示出为 $\Sigma (t - 1)^{-1}$),并且该倒置将基本上是不可计算的直到该协方差矩阵积累了足够数量的统计样本。

[0339] 图 10 的算法 1000 还包括建立另一组运行参数。这在框 1060 示出。在此情况下,所述运行参数涉及对移动阈值 $T(t+1)$ 进行计算。

[0340] 图 12 提供了对于所述运行参数所做出的确定 1200 的流程图。所述运行参数中的一个参数限定存储器参数 η 。这在框 1210 示出。存储器参数 η 不是向量,而是表示一个单个数字。如以下方程式所示出的,指定给 η 的值影响用于计算初始阈值 $T(t)$ 或更新移动阈值 ($t+1$) 的样本数目。

[0341] 存储器参数 η 应当大于自主工具横穿一个接箍所花费的时间。然而, η 应当小于最接近的两个接箍之间的间距。在一个方面中, η 大约是 0.5 至 5。

[0342] 用于确定 1200 的另一个运行参数是限定标准偏差因子 (STD_Factor)。这在框 1220 提供。STD_Factor 是指示数据中的异常的可能性的值。算法 1000 实际上起到检测异常的功能。

[0343] 在用算法 1000 中计算阈值之前,可以建立初始值。可以通过以下方式来确定多个初始值:

[0344] 限定 $MR(2 * W' + 1) = R(2 * W' + 1)$

[0345] 其中 R 表示留数,

[0346] MR 表示移动留数,并且

[0347] $(2 * W' + 1)$ 指示在 $t > 2 * W'$ 时的计算;

[0348] 限定 $SR(2 * W' + 1) = [R(2 * W' + 1)]^2$

[0349] 其中 SR 表示留数的二阶矩;

[0350] 限定 $STDR(2 * W' + 1) = 0$,

[0351] 其中 $STDR$ 表示留数的标准偏差;

[0352] 并且

[0353] 当部署井下工具时限定 $T(2 * W' + 1) = 0$ 。

[0354] 其中 $T(2 * W' + 1)$ 表示初始阈值。

[0355] 再次回到图 10,算法 1000 还包括计算移动阈值 $T(t+1)$ 。这在框 1070 示出。如同框 1050 的计算留数 $R(t)$ 一样,优选是除非已经获取的样本的数目 (t) 大于模式窗口 (W) 的尺寸 (W') 的两倍,否则不对移动阈值 $T(t+1)$ 进行强制计算。

[0356] 框 1070 的计算步骤本身包括一系列的计算。图 13 呈现了用于计算移动阈值 $T(t+1)$ 的步骤 1300 的流程图。

[0357] 首先,步骤 1300 包括计算移动留数 $MR(t+1)$ 。这在框 1410 可见。移动留数 $MR(t+1)$ 是随模式窗口 (W) 前进在时间上的留数值。移动留数可根据以下等式来进行计算:

[0358] $MR(t+1) = \mu R(t+1) + (1 - \mu) MR(t)$

[0359] 其中 μ 是用于窗口式统计分析的存储器参数,

[0360] MR(t) 是在前一模式窗口的移动留数, 并且

[0361] MR(t+1) 是当前模式窗口的移动留数。

[0362] 步骤 1300 还包括计算二阶矩留数 SR(t+1)。这在框 1320 示出。二阶矩留数 SR(t+1) 也是一个移动值, 并且表示随模式窗口(W)前进在时间上的留数二阶矩。二阶矩留数可根据以下等式来进行计算:

$$[0363] \quad SR(t+1) = \mu [R(t+1)]^2 + (1 - \mu) SR(t)$$

[0364] 其中 SR(t) 是在前一模式窗口的留数二阶矩, 并且

[0365] SR(t+1) 是当前模式窗口的留数二阶矩。

[0366] 用于计算移动阈值 T(t+1) 的步骤 1300 还包括计算留数值的标准偏差 STDR(t+1)。这在框 1330 表示。留数标准偏差 STDR(t+1) 也是一个移动值, 并且表示随模式窗口(W)前进在时间上的留数标准偏差。该留数值标准偏差可根据以下等式来进行计算:

$$[0367] \quad STDR(t+1) = \sqrt{SR(t+1) - [MR(t+1)]^2}$$

[0368] 其中 STDR(t+1) 是在当前模式窗口的留数标准偏差。

[0369] 步骤 1300 进一步包括计算移动阈值 T(t+1)。这在框 1340 可见。阈值 T(t+1) 也是一个移动值, 并且表示随模式窗口(W)前进用于确定一个接箍位置的潜在开始的基准。该阈值可根据以下等式来进行计算:

$$[0370] \quad T(t+1) = MR(t+1) + STD_Factor \times STDR(t+1)。$$

[0371] 回到图 10 的算法步骤 1000, 步骤 1000 还提供用于确定移动留数值 R(t+1) 是否已经与移动阈值 T(t+1) 交叉。这在框 1080 中提供。提出以下查询:

[0372] $R(t-1) < T(t)$, 并且

[0373] $R(t) \geq T(t)$ 。

[0374] 其中 R(t) 是用于当前模式窗口(W)的留数值,

[0375] R(t-1) 是用于前一模式窗口(W)的留数, 并且

[0376] T(t) 是用于当前模式窗口(W)的阈值。

[0377] 如果该查询满足的话, 则算法 1000 将时间 (t) 标记为潜在接箍位置的开始。

[0378] 再次指出的是框 1080 的确定只在 $t > 2 \times W'$ 的情况下做出。此外, 接箍位置只在以下情况下被标记:

$$[0379] \quad \frac{W}{t} > \mu$$

[0380] 其中 W 是模式窗口数, 并且

[0381] μ 是用于窗口式统计分析的存储器参数。

[0382] 这意味着这个时间必须大于窗口大小除以存储器参数 μ 。

[0383] 图 14A 和图 14B 提供了用于变换后的第二 CCL 测井记录的一个说明性部分的屏幕截图 1400A、1400B。第一线(以 1410 指示)表示实时磁信号, 其由作为框 840 的一部分的自主工具部署而获得并且对这些信号的记录如框 910 的一部分。第二线(以 1420 指示)表示移动留数 R(t+1)。获取移动留数 R(t+1) 作为框 920 的一部分, 并且对移动留数 R(t+1) 的计算作为框 1310 的一部分。移动留数值形成成为被储存在处理器中的“变换后的”信号的测井记录。

[0384] 在图 14A 和图 14B 的每个图中, x 轴线表示深度(或位置),且单位是英尺。y 轴线表示磁信号值或强度。在图 14A 中,用于第二 CCL 测井记录 1410 的多个信号值指示出两个相异的峰值区域。第一区域(以 1430 示出的)示出了可代表多个接箍的多个峰值(相对大的磁信号)。可替代地,区域 1430 中的峰值可代表所谓的短接头。这样的短接头典型地具有两个环。峰值的第二区域(以 1440 示出)代表一个接箍。

[0385] 移动到图 14B,图 14B 提供了另一个屏幕截图 1400B。用于变换后的 CCL 测井记录 1410 的多个移动留数值 $R(t+1)$ 1420 被再次示出。此外,多个移动阈值 $T(t+1)$ 用虚线以 1450 示出。丢弃在 2 英尺至 4.5 英尺之间的早期峰值,如方法 1000 的一部分(框 1080)。这将在以下结合图 16 进一步进行讨论。在 5 英尺至 6 英尺之间的多个峰值表示一个接箍。

[0386] 应指出的是阈值线 1450 是移动的且调整的。该阈值典型地被选择成平均值加上一个或两个标准偏差。在图 14B 中,阈值 $T(t+1)$ 在每个接箍(开始于大约 5 英尺处)与留数值 $R(t+1)$ 相交。

[0387] 现在回到图 9,用于处理器算法的步骤 900 之后包括递增地对变换后的第二 CCL 测井记录与该第一 CCL 测井记录进行比较。这在框 930 可见。这个比较在将自主井下工具部署到井筒中的过程中发生。框 930 的比较使表示套管接箍位置的两个测井记录之间的值相关联。

[0388] 相对于该第一 CCL 测井记录的比较可以涉及对来自框 810 步骤的来自初始线缆运行所记录的磁信号的比较。当然这些信号已经转化成数字形式。如来自框 810 的获取 CCL 数据集的步骤的一部分,用于第一 CCL 测井记录的磁信号可进一步被变换。例如,信号可经受平滑处理以形成该第一 CCL 测井记录。可替代地,信号可经受一个窗口式统计分析,如图 10、图 11 和图 12 中描述的用于第二 CCL 测井记录的磁信号的分析。对第一 CCL 测井记录(深度序列)和第二 CCL 测井记录(时间序列)二者进行变换允许磁信号或脉冲看起来相似,例如简单峰值。

[0389] 框 930 的递增地对变换后的第二 CCL 测井记录与第一 CCL 测井记录进行比较的步骤通过使用接箍模式匹配算法来执行。优选的是,该算法一次一个峰值地在该第一测井记录与第二测井记录之间的进行峰值比较。

[0390] 图 15 提供了用于迭代地对变换后的第二 CCL 测井记录与第一 CCL 测井记录进行比较的一种方法 1500 的一个实施例的流程图。方法 1500 首先包括确定用于匹配的开始时间。这在框 1510 示出。确定开始时间的目的是使该处理器不去尝试从在该自主工具首先被部署到井筒中时不可避免读取的峰值识别接箍。

[0391] 图 16 提供了初始磁信号 1610 的屏幕截图 1600。图 16 的 x 轴线表示深度(以英尺度量),而 y 轴线表示信号强度。可看出的是,第一组峰值(大信号强度值)在以 1620 标记的区域中可见。发现在区域 1620 中的信号是在该井筒中 4 英尺与 4.5 英尺之间的。在方法 1500 的接箍模式匹配算法中不对这些信号进行比较。这是基于来自框 1080 的查询:

$$[0392] \quad t > \frac{W}{\mu} .$$

[0393] 回到图 15,第二组峰值在区域 1630 示出。发现在区域 1630 中的这些信号是在该井筒中 5 英尺与 6 英尺之间的。来自区域 1630 的这些信号代表在方法 1500 的比较算法中实现的第一接箍。

[0394] 方法 1500 还包括建立用于接箍匹配算法的基准参考。这在框 1520 中示出。这些基准参考涉及深度和时间。深度 $\{d_1, d_2, d_3, \dots\}$ 是从该第一 CCL 测井记录获得。这些指示出如从该第一 CCL 测井记录确定的在该井筒中的套管接箍的相应深度。时间 $\{t_1, t_2, t_3, \dots\}$ 涉及在变换后的第二 CCL 测井记录中的磁信号响应的位置的时间。这些指示出如由在该自主工具中的处理器确定的潜在的套管接箍位置。在这些情况中,变换后的磁信号响应超过移动阈值 $T(t+1)$ 。

[0395] 方法 1500 还包括估计该自主工具的初始速度。这在框 1530 提供。为了估计速度 v , 深度 d_1 被假定成与时间 t_1 匹配。同样,深度 d_2 被假定成与时间 t_2 匹配。于是,这个初始速度被计算成:

$$[0396] \quad v_1 = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$$

[0397] 方法 1500 还包括更新接箍匹配索引。这在框 1540 表示。索引涉及接箍匹配的顺序。在框 1540 的步骤中,最后确认的匹配针对深度被索引到 d_k , 而针对时间被索引到 t_1 。最后确认的速度估计将是 u 。

[0398] 方法 1500 之后包括确定套管接箍的下一次匹配。这在框 1550 可见。这个匹配是使用一个收敛的迭代过程来实现的。在一个方面中,收敛的迭代步骤是:

[0399] (1) 如果 $v = \left(\frac{d_{k+1} - d_k}{v_{l+1} - v_l} \right)$ 满足 $(1 - e)u < v < (1 + e)u$ 的话,使 d_{k+1} 与 t_{l+1} 相匹配。在

这个查询中, e 表示误差幅度。优选的是,幅度“ e ”不大于大约 10%。

[0400] (2) 否则,如果 $(d_{k+1} - d_k) < v(t_{l+1} - t_l)$ 的话,从该 CCL 测井记录顺序中删除 d_{k+1} 并且将所有后面的索引减 1。这意味着该算法把按顺序的下一个深度数看作是 d_{k+1} , 并且返回到步骤(1)。

[0401] (3) 否则,如果 $(d_{k+1} - d_k) > v(t_{l+1} - t_l)$ 的话,从该 CCL 测井记录顺序中删除 d_{l+1} 并且将所有后面的索引减 1。这意味着该算法把按顺序的下一个时间数看作是 t_{l+1} , 并且再次返回到步骤(1)。

[0402] 方法 1500 之后包括对这些索引进行更新,并且重复框 1550 的迭代过程。这在框 1560 中提供。通过这种方式,在这两个 CCL 测井记录之间的接箍被一次一个地匹配。

[0403] 在此指出的是,自主工具可被部署在井筒中,并且在不使用迭代过程的情况下在该第一与第二 CCL 测井记录之间做连续比较。在此方面,该算法可以简单地顺序地匹配发现信号峰值的位置,其指示出接箍的存在。在这样的一种设置中,操作者可以针对该第一(以深度序列储存的)和第二(在线时间序列)CCL 留数选择阈值。这将典型地被选择为移动平均值加上一个或两个标准偏差,以检测接箍位置在这两个数据集中的开端。然后,从该井筒的顶部或其他预定位置开始,该算法可以连续地匹配事件开始值以便在这些时间从该 CCL 测井记录获得用于该自主工具的位置值,如在邻近的图中所示。然而,这样的一种对这些值的直接比较将不考虑在第一或第二 CCL 测井记录中可以出现的伪峰值或丢失的峰值,并且它假定在该井筒中是恒定的工具速度。

[0404] 方法 1500 表示了对这种方式的增强。方法 1500 自动地从最近的接箍匹配估计速度,并且使用当前匹配来产生接近前期速度的速度估算。这种新型的加强提供了稳健性且

纠错能力以弥补偶然和随机的丢失峰值或伪峰值,同时允许随时间累积的小的速度变化。

[0405] 图 17A、图 17B 和图 17C 提供了屏幕截图 1700A、1700B、1700C,这些截图示范了使用图 15 的方法 1500 的接箍模式匹配算法。首先,图 17A 提供了对用于该自主工具的深度读数与用于该第一 CCL 测井记录深度读数的比较的屏幕截图 1700A。屏幕截图 1700A 是描绘了接箍位置与深度关系的笛卡尔(Cartesian)图形。

[0406] 用于第一 CCL 测井记录深度读数以 1710 指示,而用于该自主工具深度读数以 1720 指示。来自该自主工具的线 1720 是基于图 15 的接箍匹配过程。在屏幕截图 1700A 中可看出的是,线 1720 与从该第一 CCL 测井记录测量的实际深度相匹配的非常好。在此方面,用于该第一 CCL 测井记录的线 1710 与用于变换后的第二 CCL 测井记录的线 1720 基本上重叠。

[0407] 图 17B 提供了第二屏幕截图 1700B。屏幕截图 1700B 沿 x 轴线示出了井筒的一个三英尺区段。x 轴线从大致 1005 英尺的深度延伸到 1008 英尺。在图 17B 中,只示出了来自第一或基础 CCL 测井记录的磁信号 1730。y 轴线指示出所述磁信号 1730 的信号强度。由于获取了每个样本,多个峰值 1730 被整齐地示出。一个接箍最有可能存在于 1005 英尺与 1006 英尺之间。

[0408] 图 17C 还提供了第三屏幕截图 1700C。图 17C 是沿着井筒的相同的三英尺区段获取的。x 轴线同样以英尺为单位,而 y 轴线表示信号强度。

[0409] 在图 17C 中,提供了线 1740 和线 1750。线 1740 表示来自第二 CCL 测井记录的原始的磁信号读数。这是来自该自主工具。来自线 1740 的峰值 1745 指示出接箍位置。线 1750 是变换后的第二 CCL 测井记录或留数 $R(t)$ 。留数 $R(t)$ 1750 整齐地与原始的第二 CCL 测井记录的峰值 1745 相关联。

[0410] 为了进一步减少已检测到的第二 CCL 峰值 1745 的不确定性,本发明的另一个实施例涉及使用位于该自主工具中的两个或更多个 CCL 传感器。目的是提供冗余的磁信号测量。用于该处理器的算法于是包括在该自主工具中的相继的信号之间的比较步骤。在一个方面中,两个信号或两个同时获得的信号窗口在计算平均留数 $m(t+1)$ 之前被平均。这有利于平滑磁响应。在另一个实施例中,磁信号按照框 920 的步骤并行地、单独地进行变换,并且然后按照框 930 的步骤单独地与第一 CCL 测井记录进行比较。选择与来自第一 CCL 测井记录的接箍模式最匹配的变换后的信号。在任一情况中,由于工具速度的激烈变化的原因,这样的冗余有助于检测伪峰值。

[0411] 还应看到的是在采用两个套管接箍定位器或传感器的情况下,这些传感器可以是沿该工具以已知距离分开。随着该自主工具横穿接箍,这样的双传感器提供用于工具速度的内置测量系统。这源自于在两个 CCL 传感器之间的已知长度以及在 CCL 峰值之间的正时。这个速度测量可以相比于或者甚至代替从框 1540 和框 1550 的步骤估算的速度。图 3 实际上示范了具有两个单独的位置定位器 314'、314'' 的工具组件 300。

[0412] 作为一个替代,从框 1520、1540 和 1550 的步骤估计该自主工具速度的过程可涉及使用加速计。在这个情况中,位置定位器 214 包括加速计。加速计是测量在自由落体期间所经受的加速度的装置。加速计可包括多轴向能力以检测作为一个向量的加速度的大小和方向。在与分析软件通信时,该加速计允许对目标的位置进行确定。优选的是,位置定位器还可以包括陀螺仪。该陀螺仪会维持例如压裂塞组件 200' 的取向。加速计读数与计算的

速度估算值进行比较。这样的读数然后被取平均以用于提高准确性。

[0413] 然而甚至可采用更多繁复的迭代过程。例如,方法 1500 可通过用于模式匹配的在一个时间对两个或者甚至三个峰值进行比较来升级。例如,可以对来自第一和第二 CCL 测井记录的最后三个监测到的峰值进行比较以确定速度并同时匹配多个峰值。这样的实施例可以有利地利用沿该井筒的多个特定特征(如多个短接头或接箍之间的多个间距变化)以执行更稳健的模式匹配以便确定速度和深度。然而,在获得准确的结果方面处理速度是重要的,而更复杂的算法会减慢处理速度。

[0414] 对该模式匹配算法而言为了能在一个时间对多于一个峰值进行比较,可以采用一种动态编程技术。这种动态编程技术试图找到一个最小值并且使用以下等式:

$$[0415] \quad \underset{a,v}{\text{Min}} \sum_{i=1}^M (a + vt_i - d_{j(i)})^2 \sum_{j=1}^N (a + vt_{i(j)} - d_j)^2$$

[0416] 其中:a 是位移,指一个点移动了多少;

[0417] v 表示速度并且是一个比例因子;

[0418] d 表示深度;

$$[0419] \quad j^*(i) = \underset{j}{\text{ArgMin}} |a + vt_i - d_j|;$$

$$[0420] \quad i^*(j) = \underset{i}{\text{ArgMin}} |a + vt_i - d_j|; \text{ 并且}$$

[0421] ArgMin 是指提供该最小值的变量的值。

[0422] 图 18 是分成三个框的图解。这三个框被指示为框 1800A、框 1800B 和框 1800C。

[0423] 前两个框(图框 1800A 和 1800B)每个均示出两组数据。这些数据表现为圆圈 1810 和星号 1820。这些圆圈 1810 代表从该第一 CCL 测井记录识别出的套管接箍。这些星号 1820 代表从该第二 CCL 数据集识别出的套管接箍。这是由自主工具获取的实时数据。圆圈 1810 和星号 1820 两者都可来自于在图 10 中的用于应用移动窗口式统计分析的方法 1000。

[0424] 框 1800A 和 1800B 中的每个框的轴线均是被校准的。x 轴线示出从 0 到 18 的接箍顺序。所有的圆圈 1810 和星号 1820 均被校准到 0。

[0425] 在第一框(框 1800A)中可看出的是这些圆圈 1810 与星号 1820 并没有精确地对齐。测井领域的普通技术人员应该理解套管接箍测井记录可以是不精确的。在此方面,套管的接头会产生伪峰值。此外,可能丢失一些套管接箍。这产生了对来自该第一和第二 CCL 测井记录的数据进行数学对齐的一种需要。

[0426] 为了提供套管接箍匹配,提供了变量 a 和 v。a 是位移,是指一个点移动了多少;而 v 表示速度,并且是一个比例因子。该算法寻求匹配点的最佳可能(a, v)。

[0427] 在框 1800A 中,只应用了比例因子 v。在框 1800B 中,应用了位移和比例因子两者。可看出的是在框 1800B 中圆圈 1810 和星号 1820 变得更加紧密对齐。

[0428] 第三框(框 1800C)对一组点应用以上示出的模式匹配算法。该算法试图针对给定(a, v)最小化一个最小二乘法目标函数。该目标函数针对一个最近点计算平方距离。在框 1800C 中可看出的是提供了校正的速度。注意到的是该目标函数的凸性,以及真实比例因子与速度估算值的几乎精确地匹配。

[0429] 可以沿井筒的整个长度使用接箍模式匹配算法 1500。可替代地,算法 1500 可以只沿该井筒的一个最当前的部分(例如行进的最后 1000 英尺)使用。为帮助使用模式识别算法 1500,套管接头可以被有意地选择成具有不同的长度,例如运用全长接头以及 1/4、1/2 和 3/4 长度的接头。使用设计好的短-长接头组合将使得即使在该第二 CCL 测井记录中存在丢失峰值或伪峰值的情况下该处理器仍能够更准确地确定其位置。

[0430] 再次回到图 9,用于致动该井下工具的步骤 900 之后包括将致动信号发送到可致动井筒装置。这在框 950 可见。在该处理器已经感测到选定井筒位置或深度时发送该致动信号。感测是基于对最后的接箍或最后一组接箍的识别。发送该致动信号导致自主工具执行其核心功能。因此,在该自主工具是射孔枪组件的情况下,该信号将导致该射孔枪引爆其充料,由此对周围的套管进行射孔。

[0431] 如可看见的,在此通过一种自主工具在井下行进而提供了用于对多个行动正时进行控制的新型技术。控制是基于深度/频率和时间/频率信号处理以及匹配接箍位置的模式识别方法的组合。对从安装在该自主工具上的磁性套管接箍定位器或 CCL 传感器接收到的信号进行分析。该 CCL 传感器连续地记录在横穿套管接箍的较厚金属段时显示特征尖峰的磁信号。不带钢丝的自主工具被预编程为具有来自先前记录的 CCL 测井记录的基于深度的信号。在此披露的方法将自动匹配这个先前记录的 CCL 测井记录与由自主工具测量的基于流动 CCL 的时间序列。

[0432] 虽然明显的是在此描述的本发明被精心策划成用于实现上述阐述的益处和优点,但应当理解的是本发明在不脱离其精神的情况下是易于修改、改变和变化的。

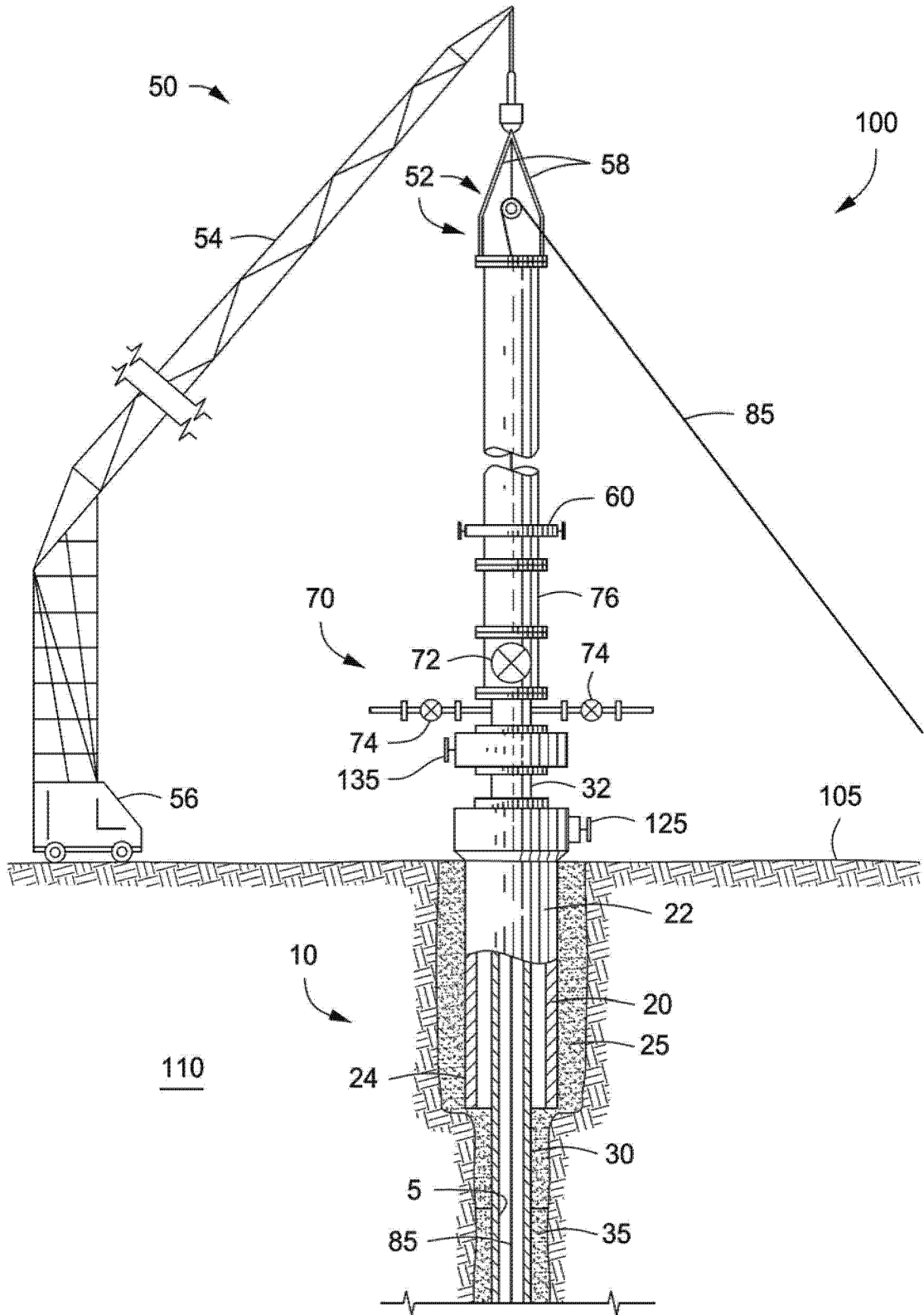


图 1 (现有技术)

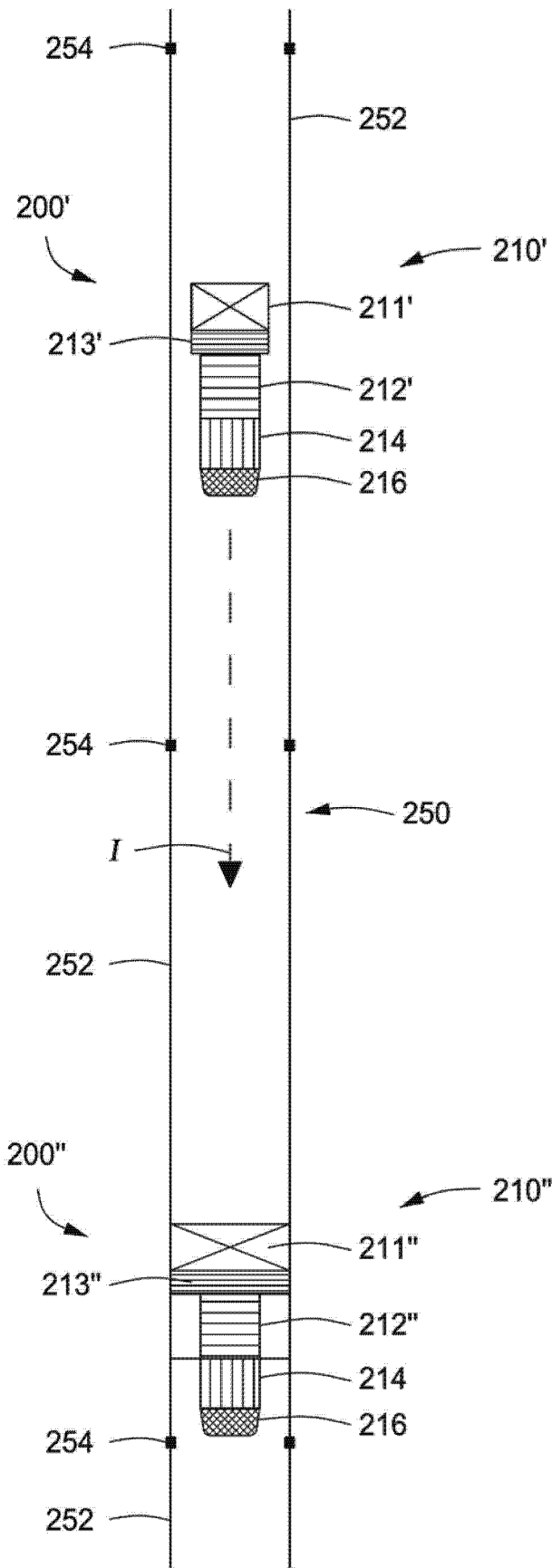


图 2

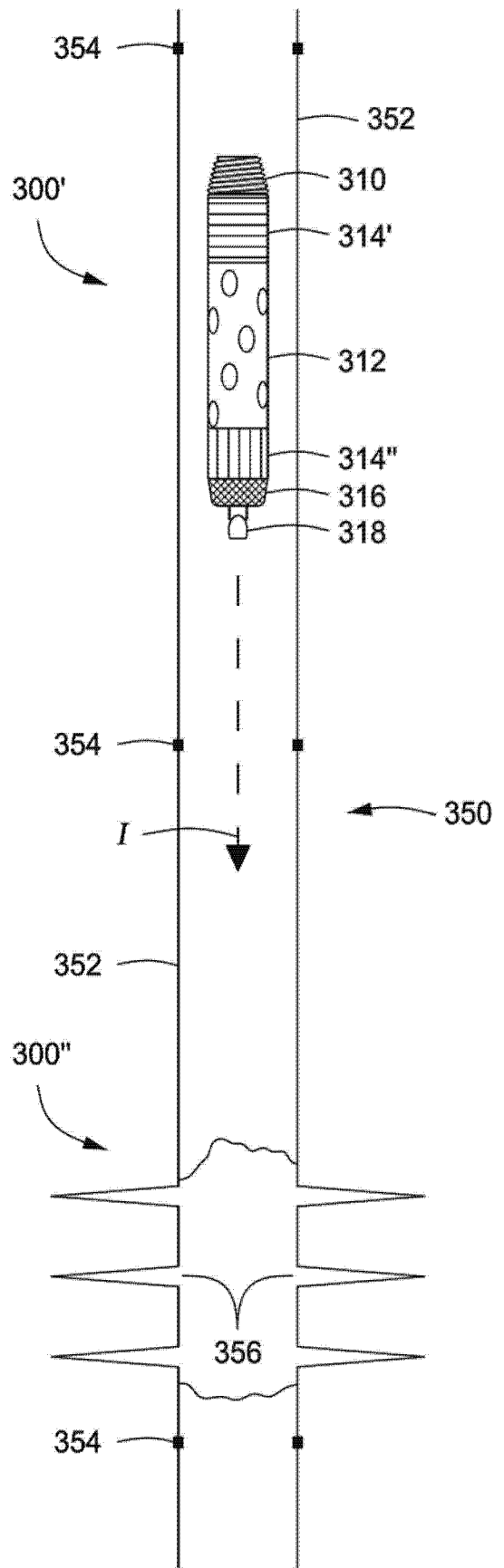


图 3

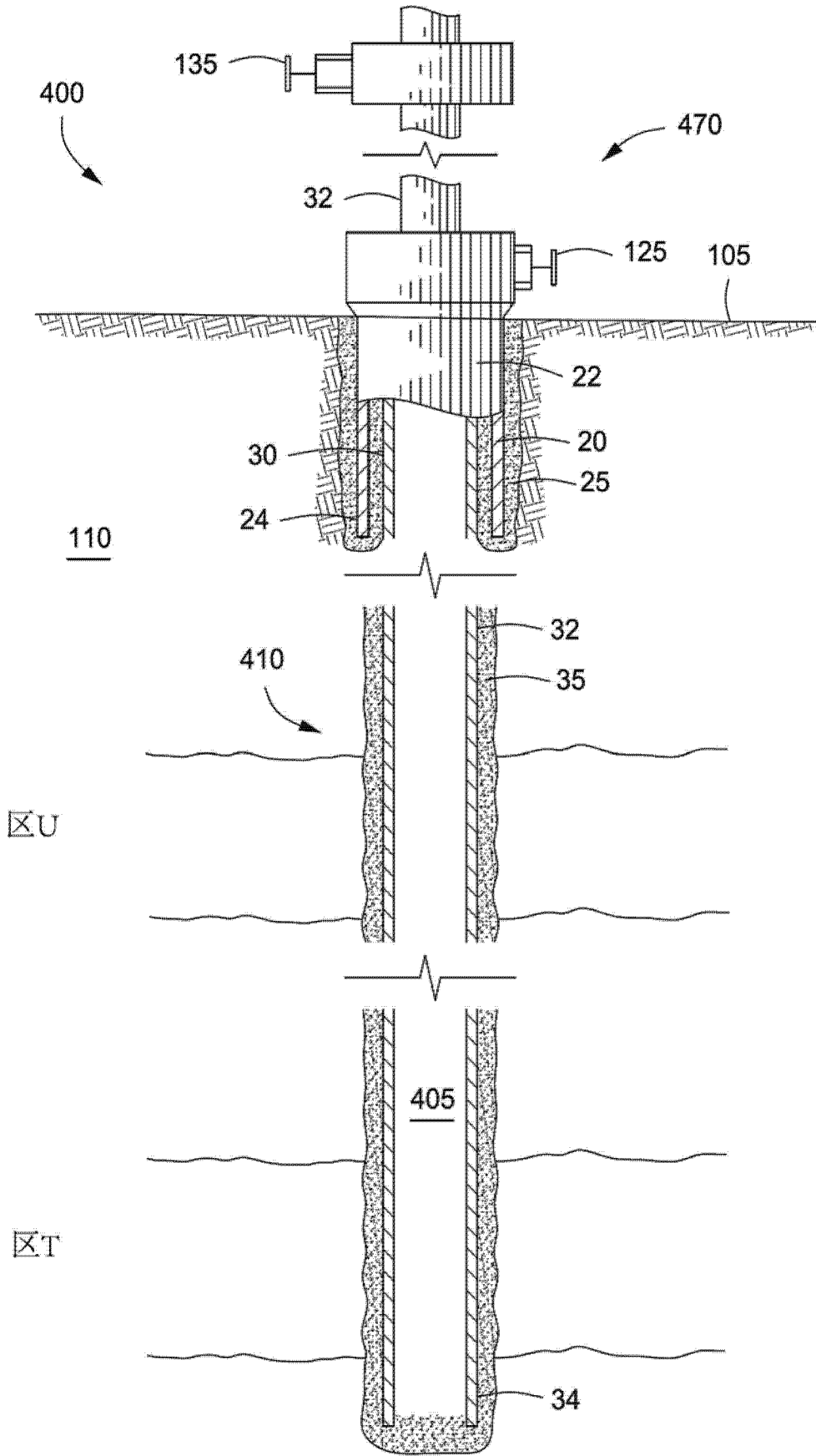


图 4A

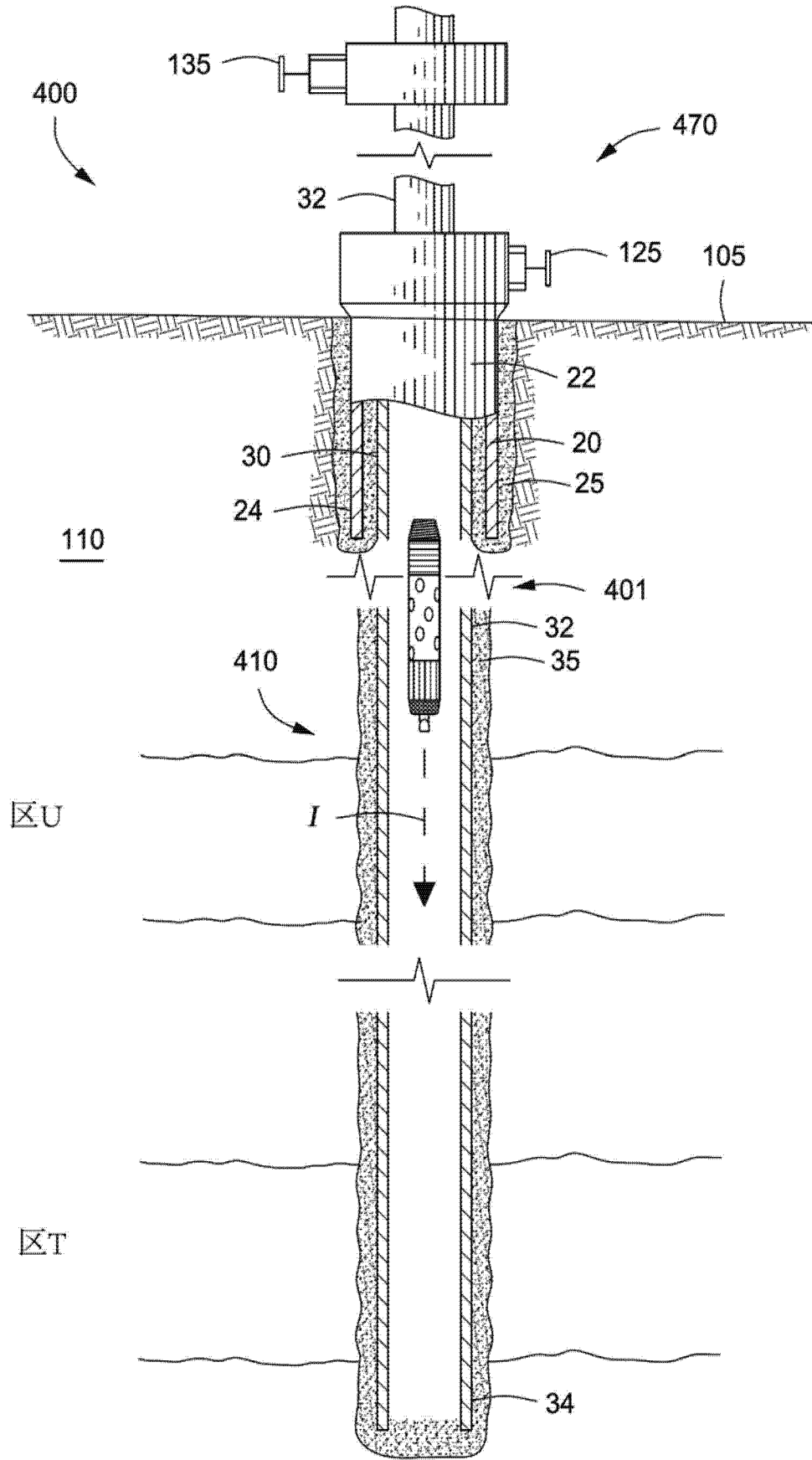


图 4B

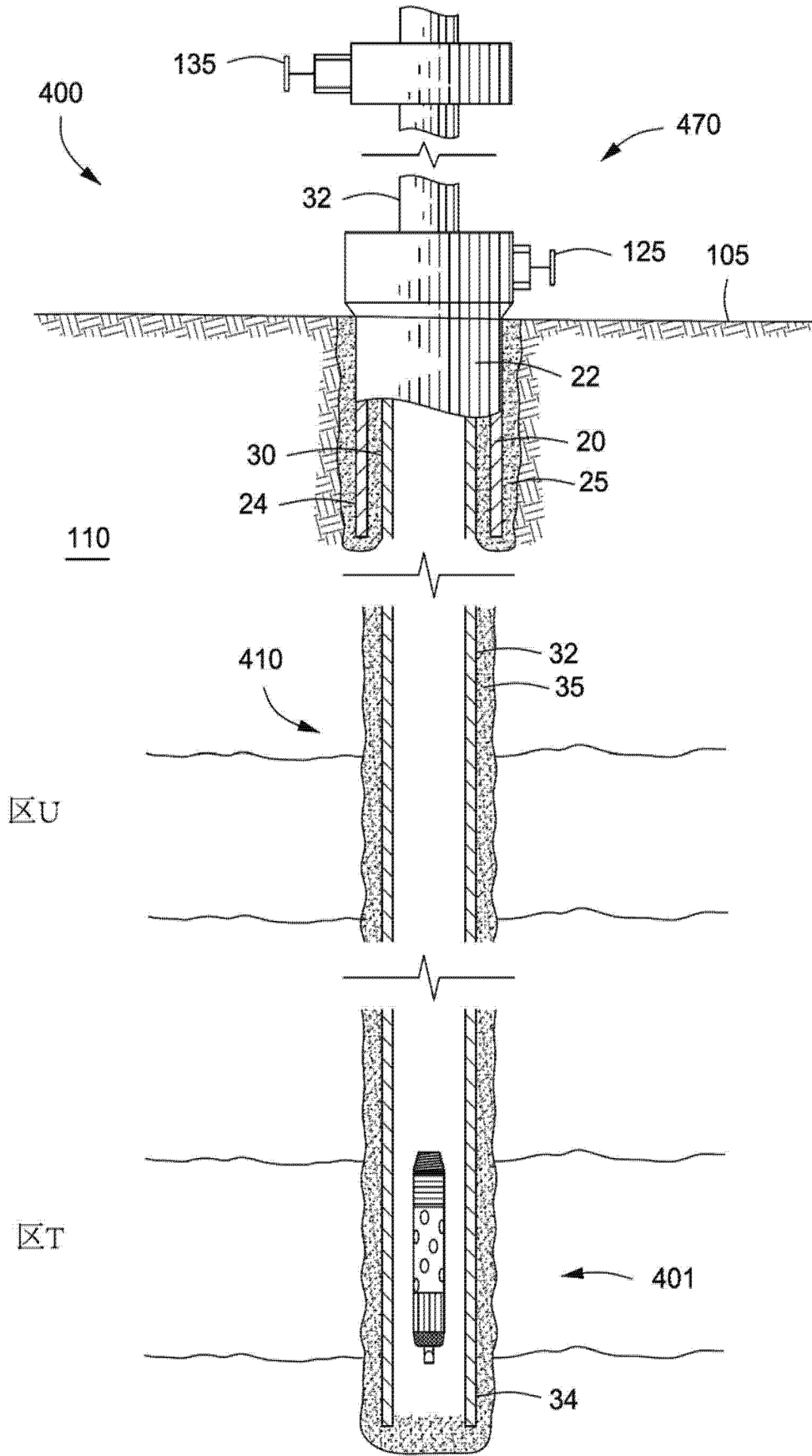


图 4C

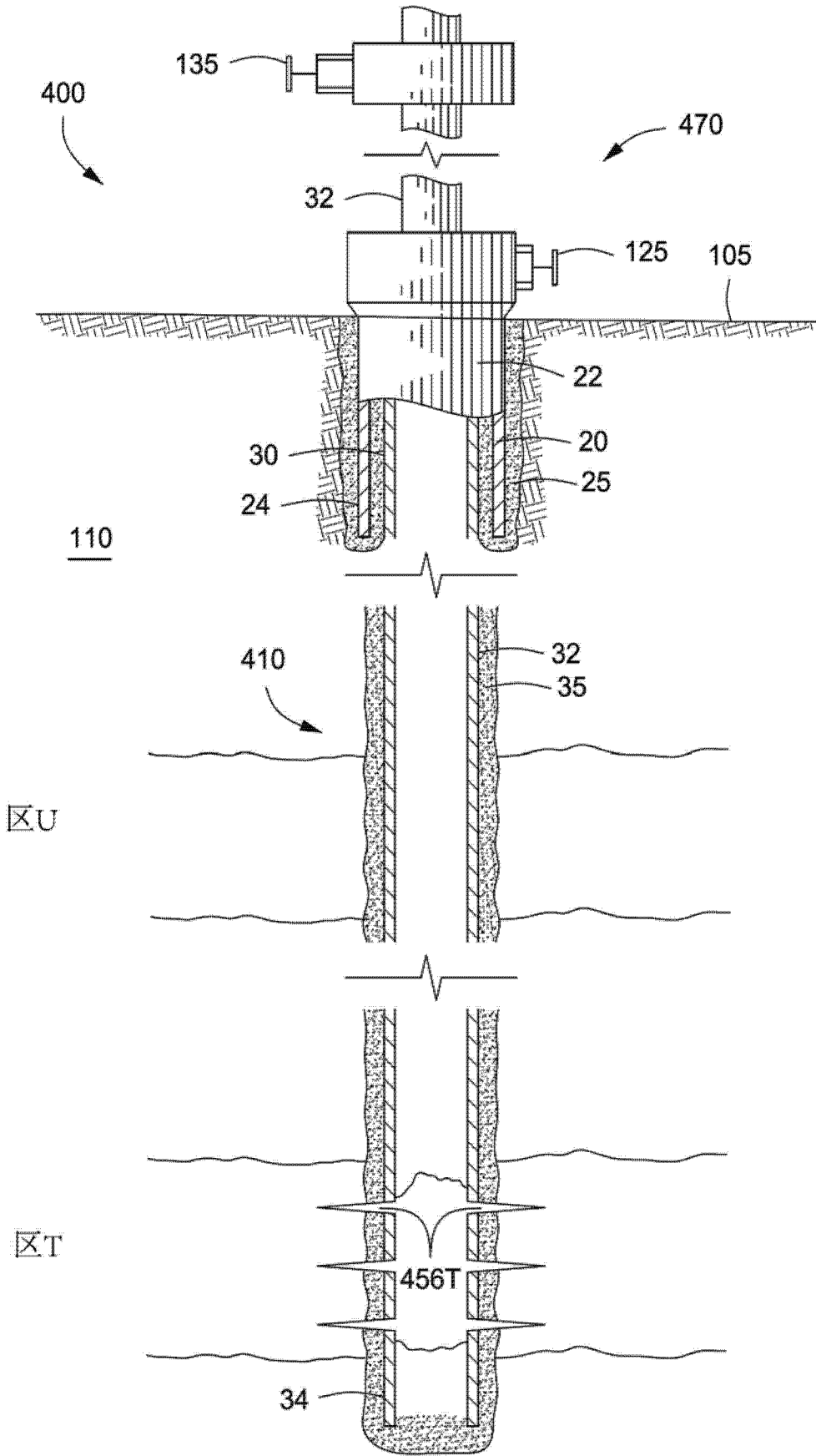


图 4D

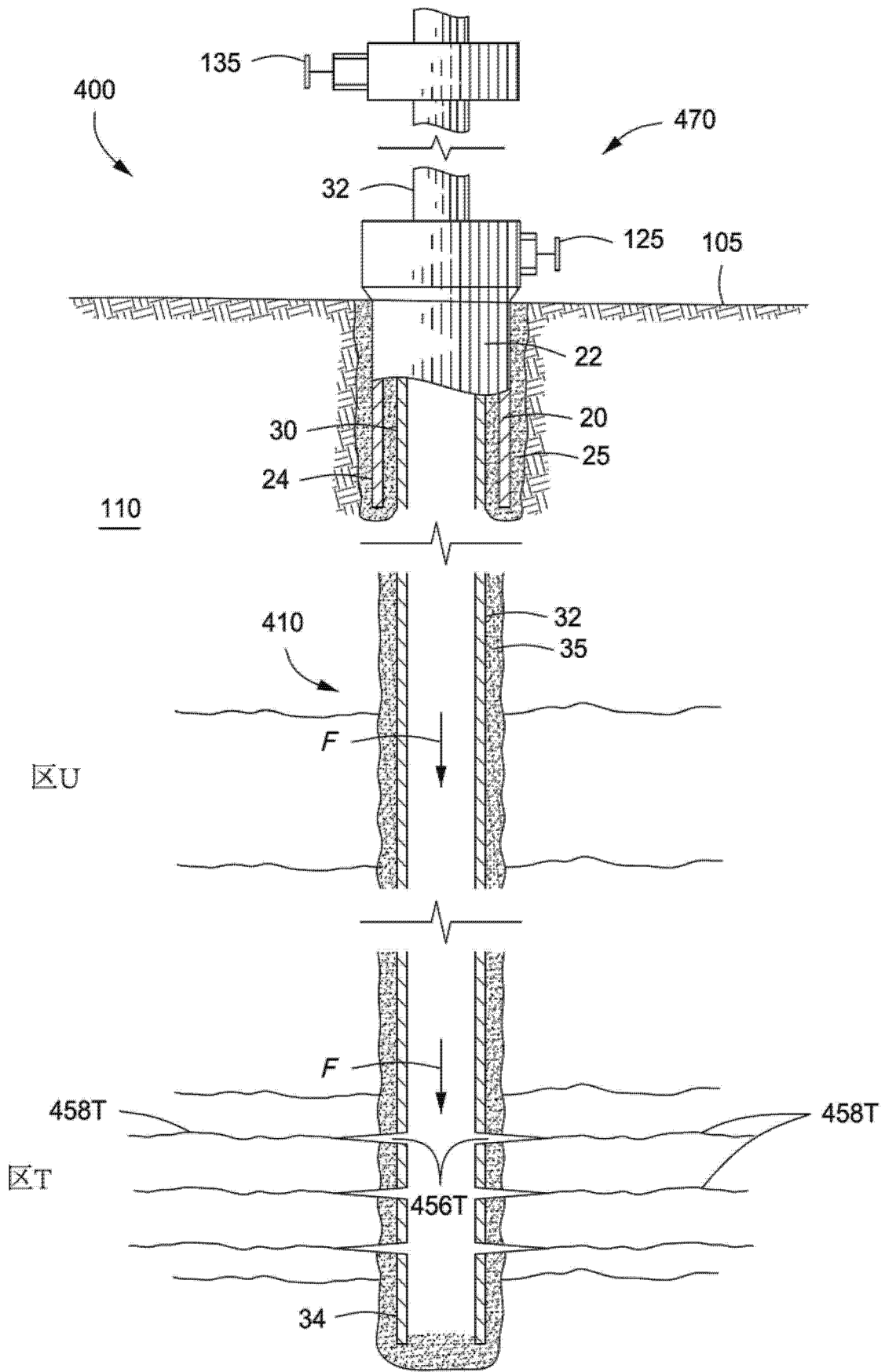


图 4E

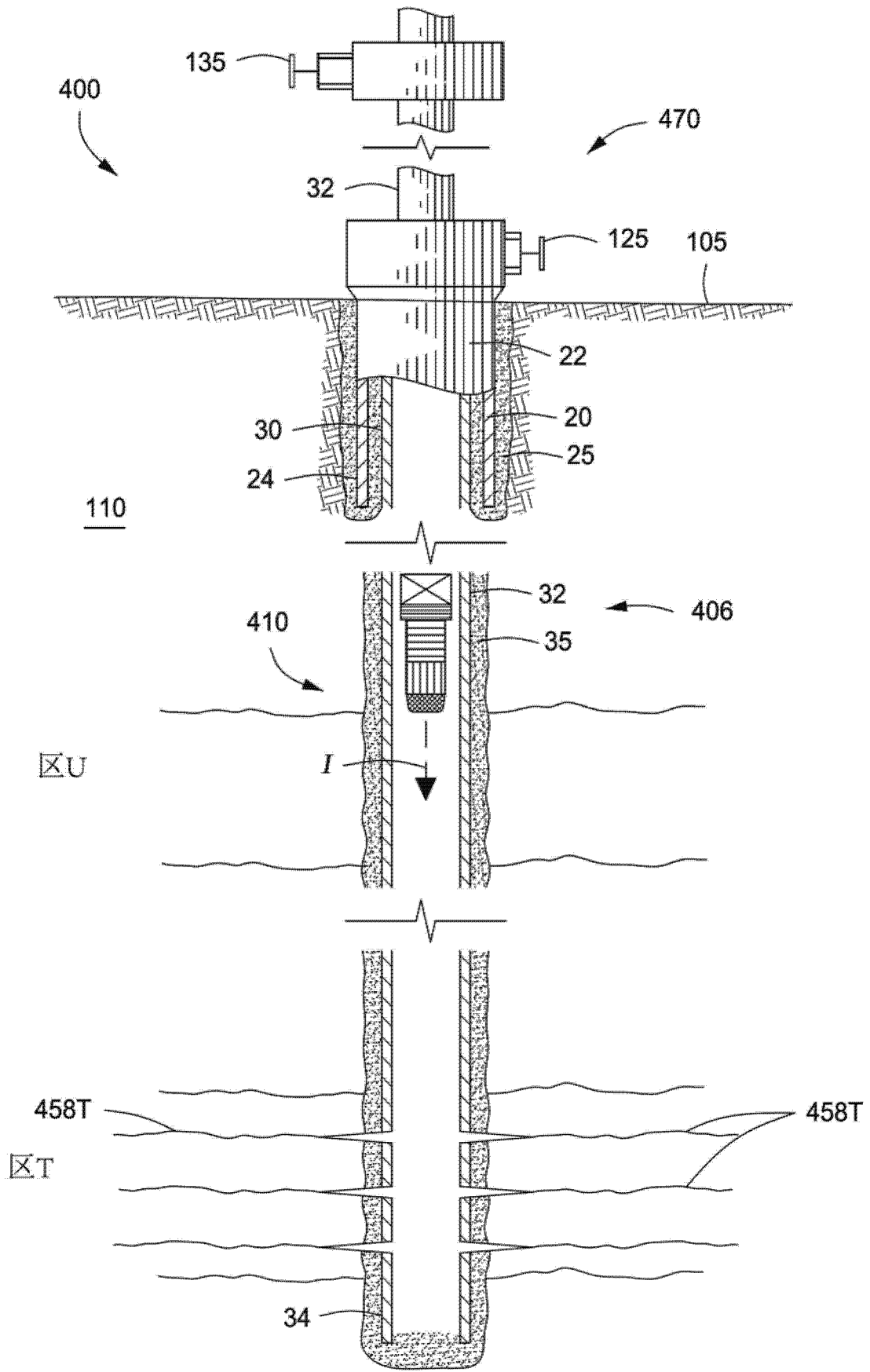


图 4F

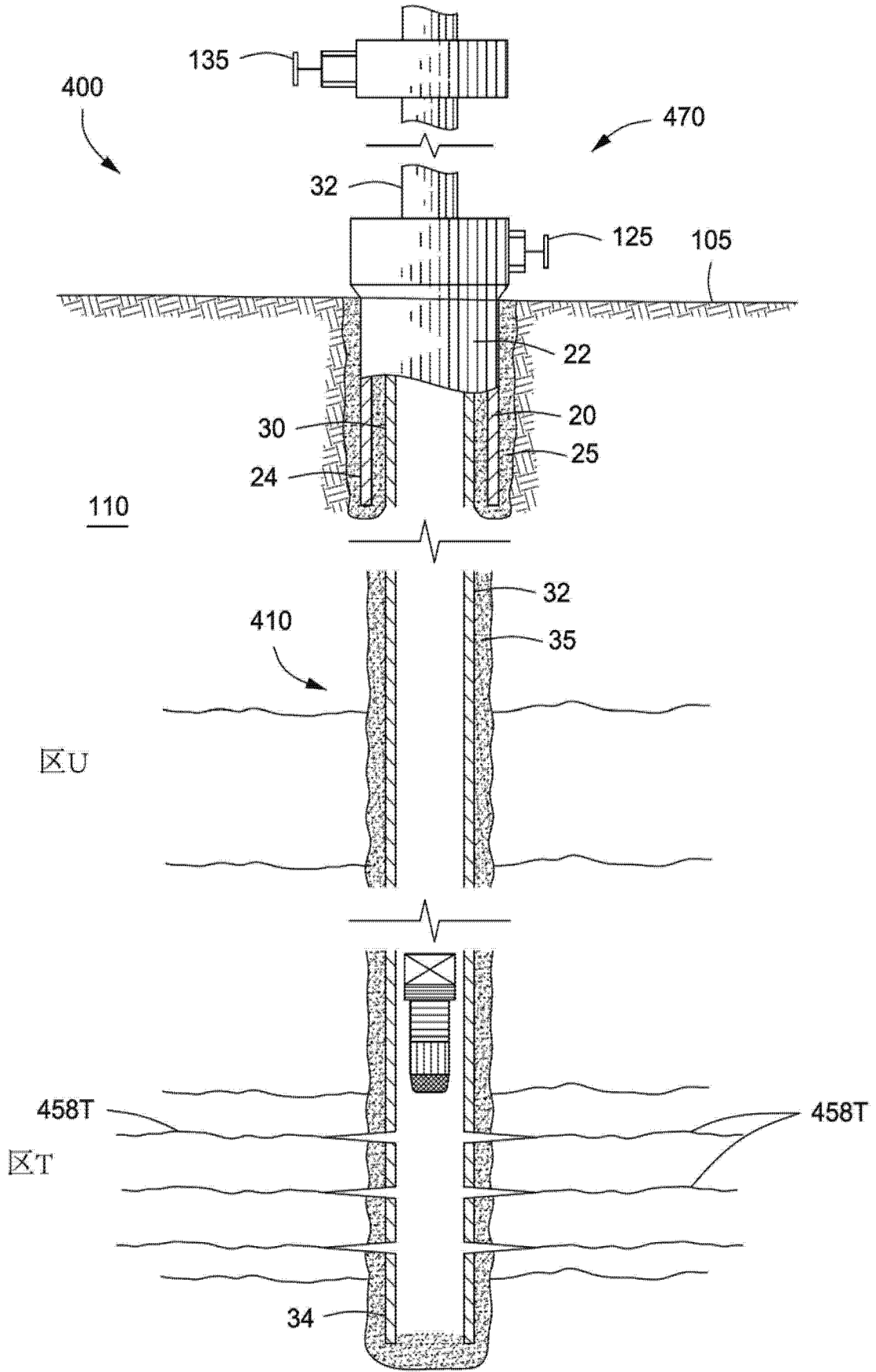


图 4G

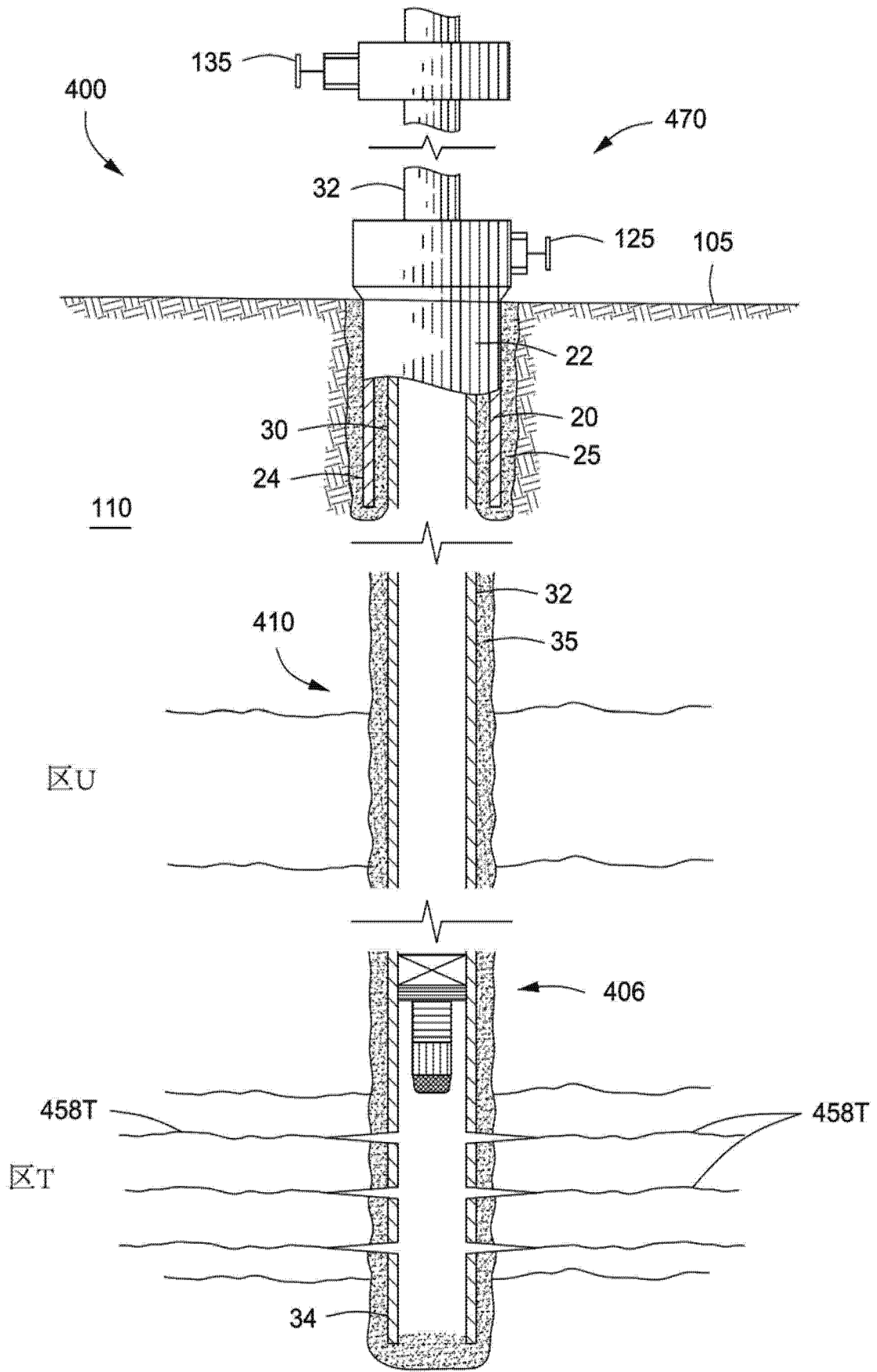


图 4H

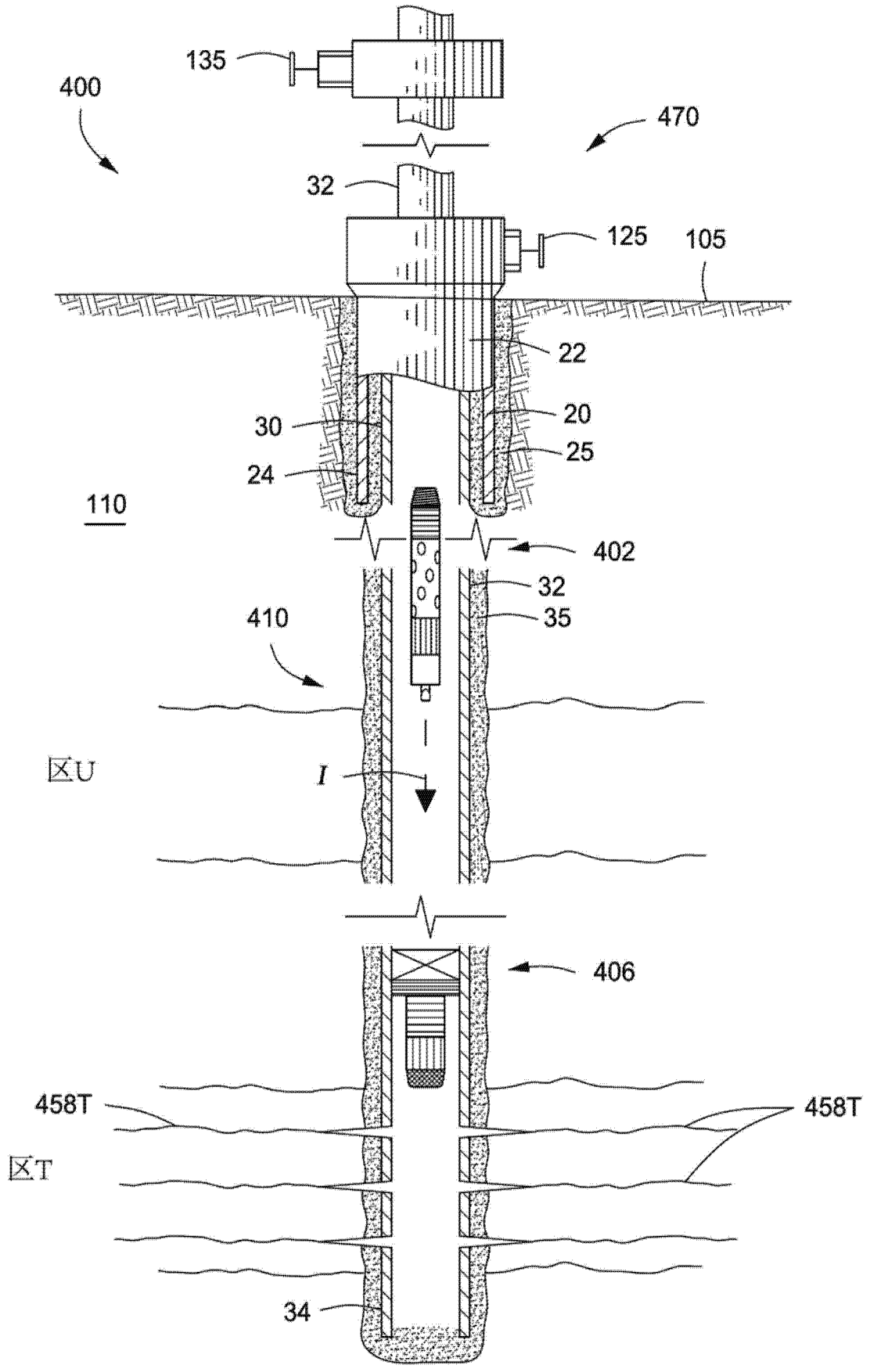


图 4I

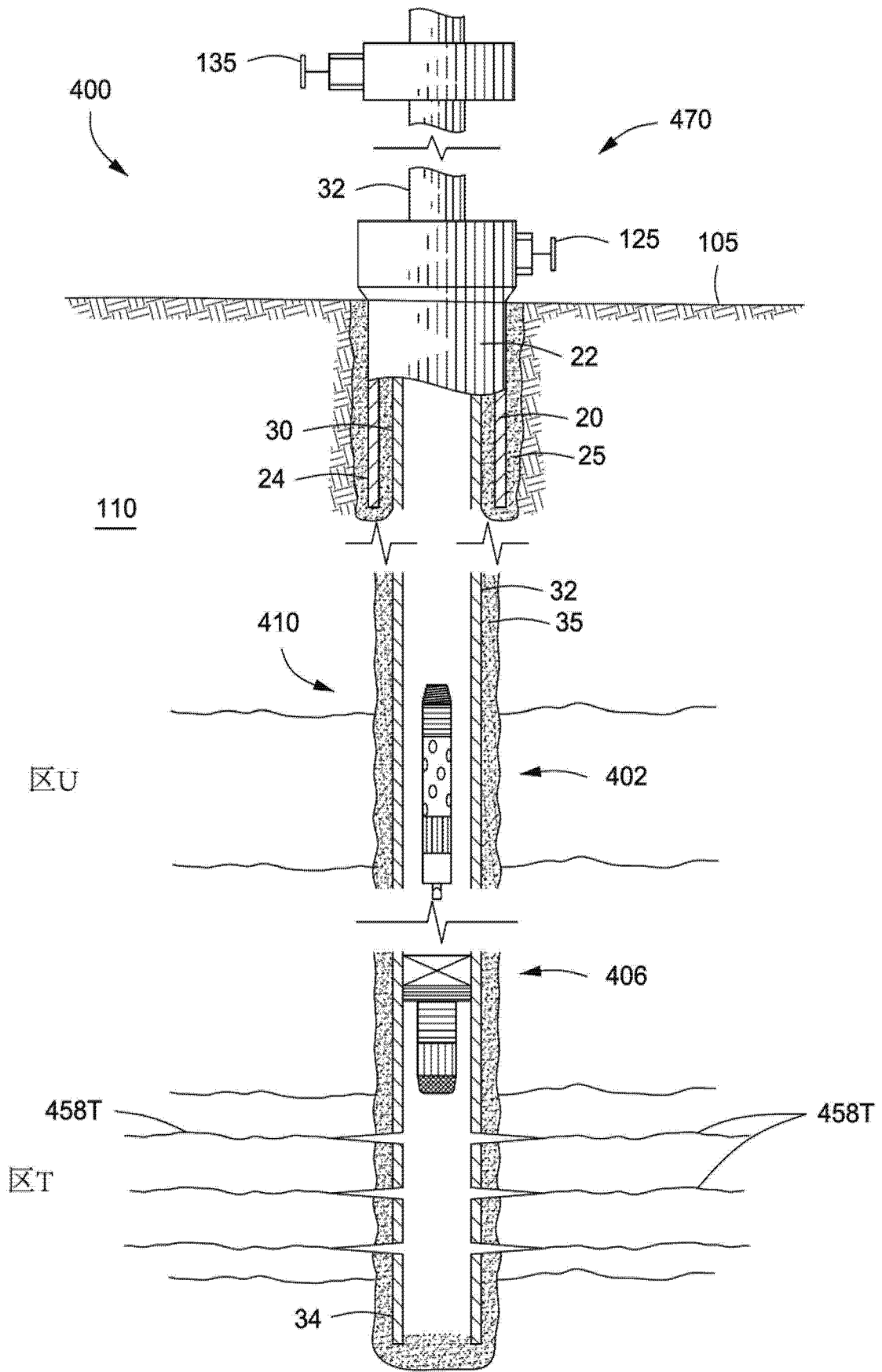


图 4J

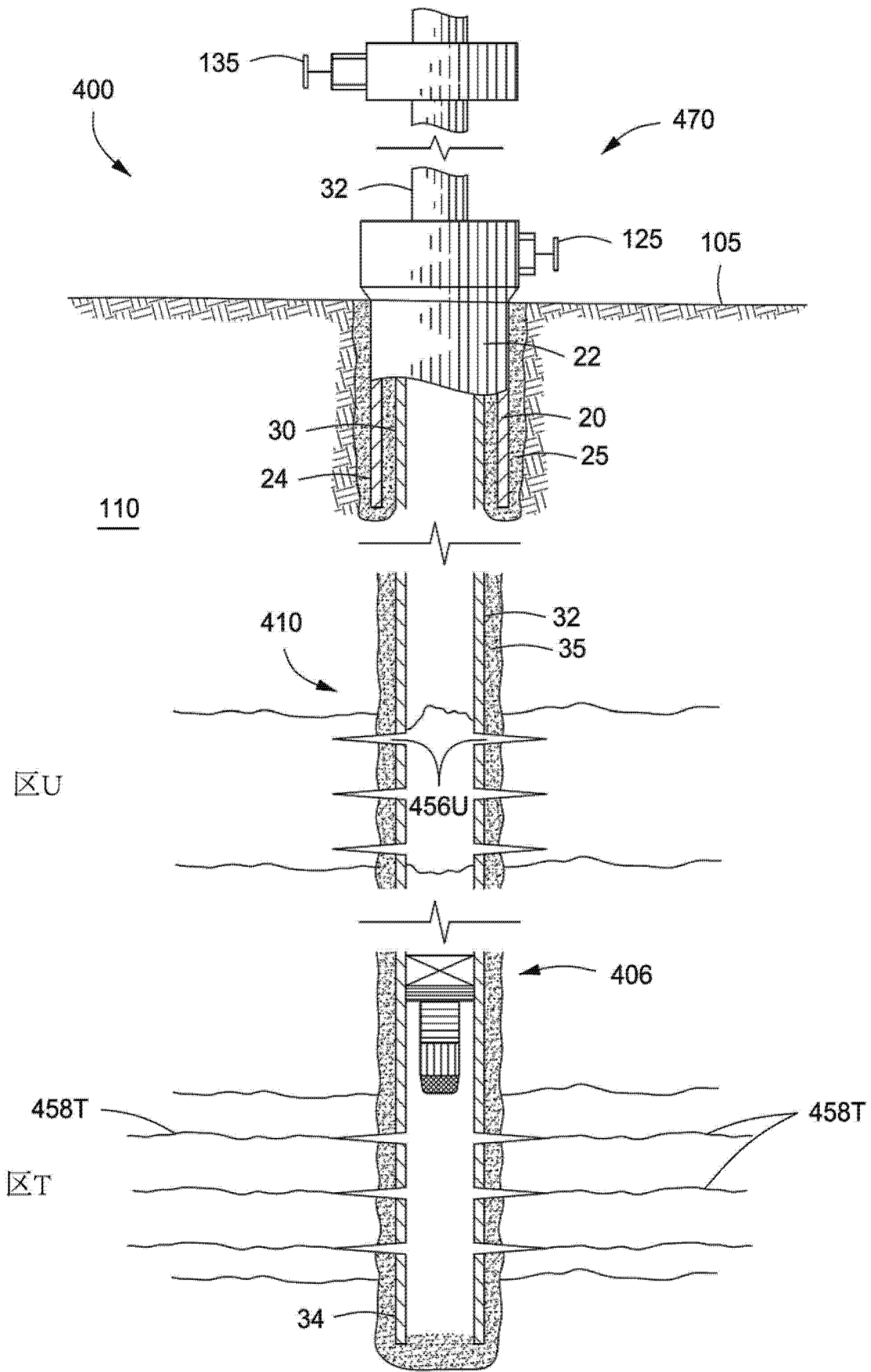


图 4K

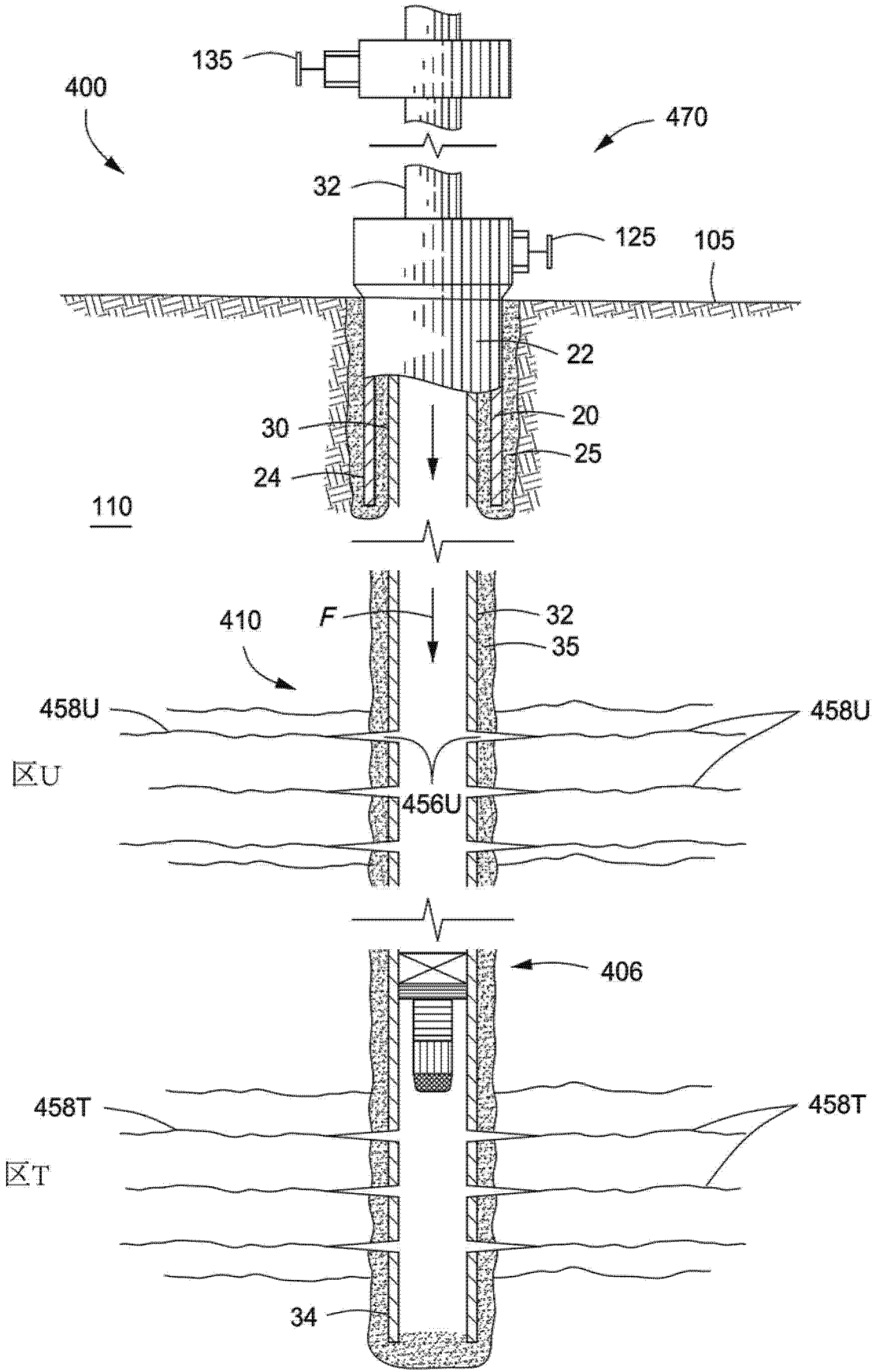


图 4L

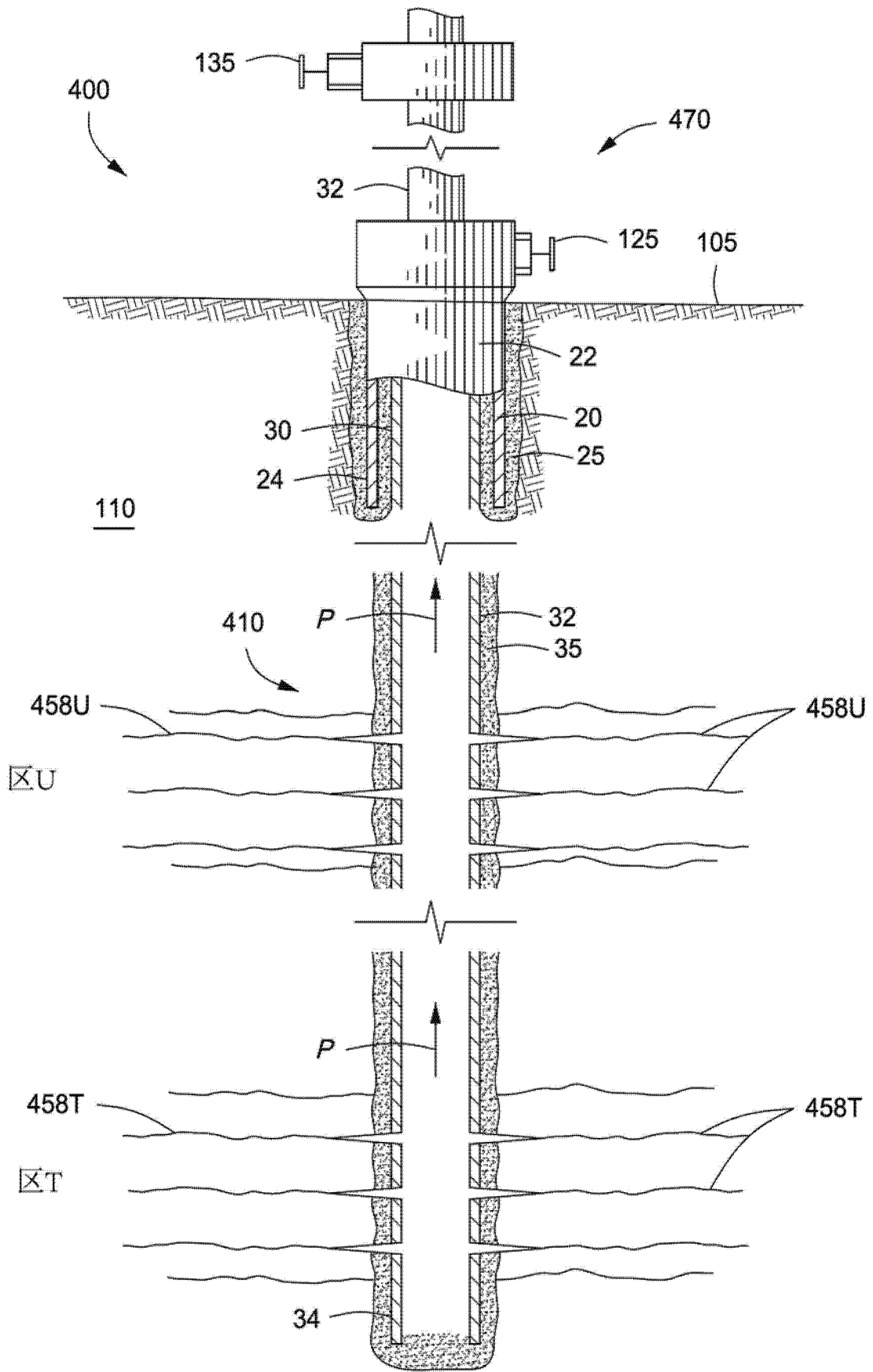


图 4M

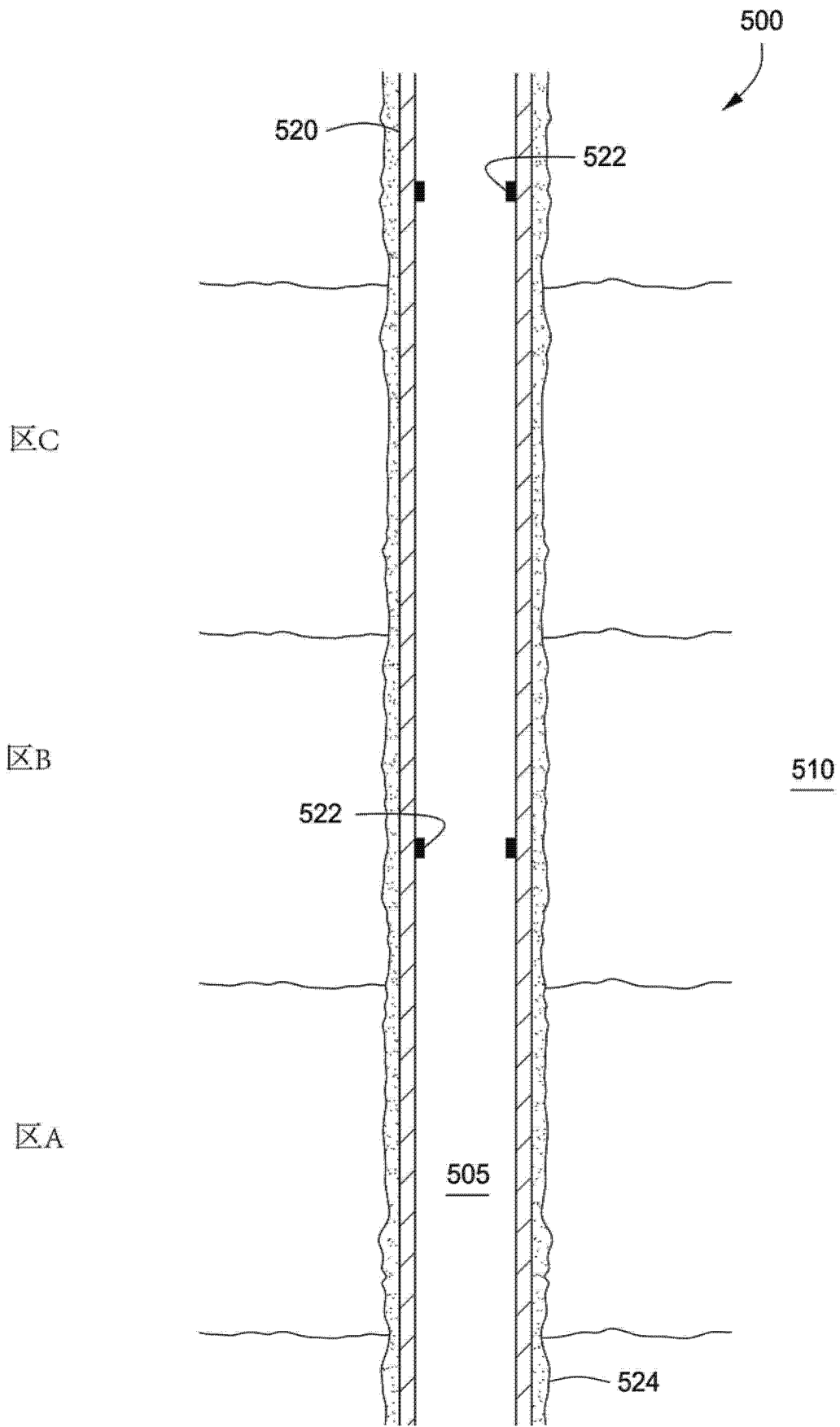


图 5A

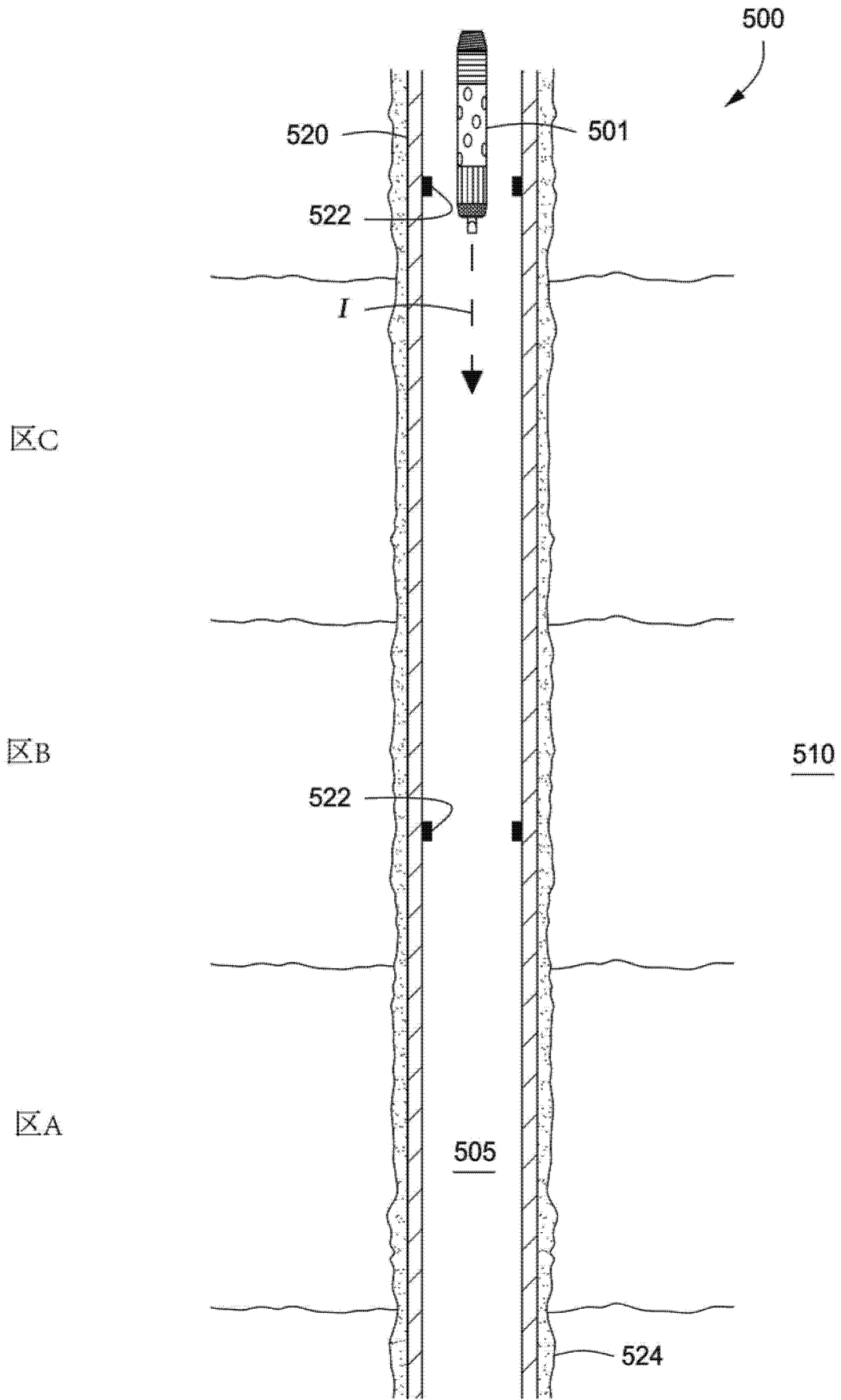


图 5B

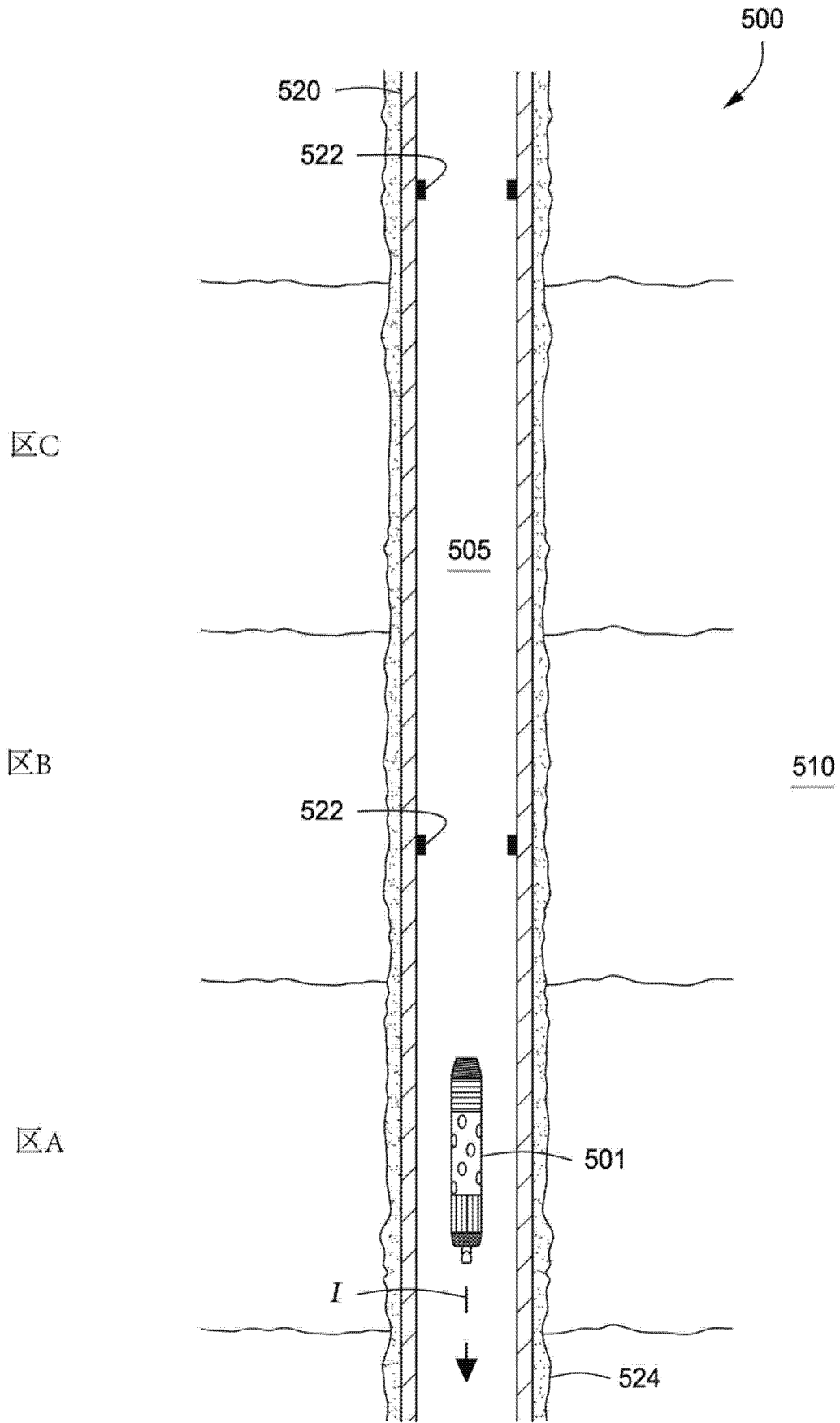


图 5C

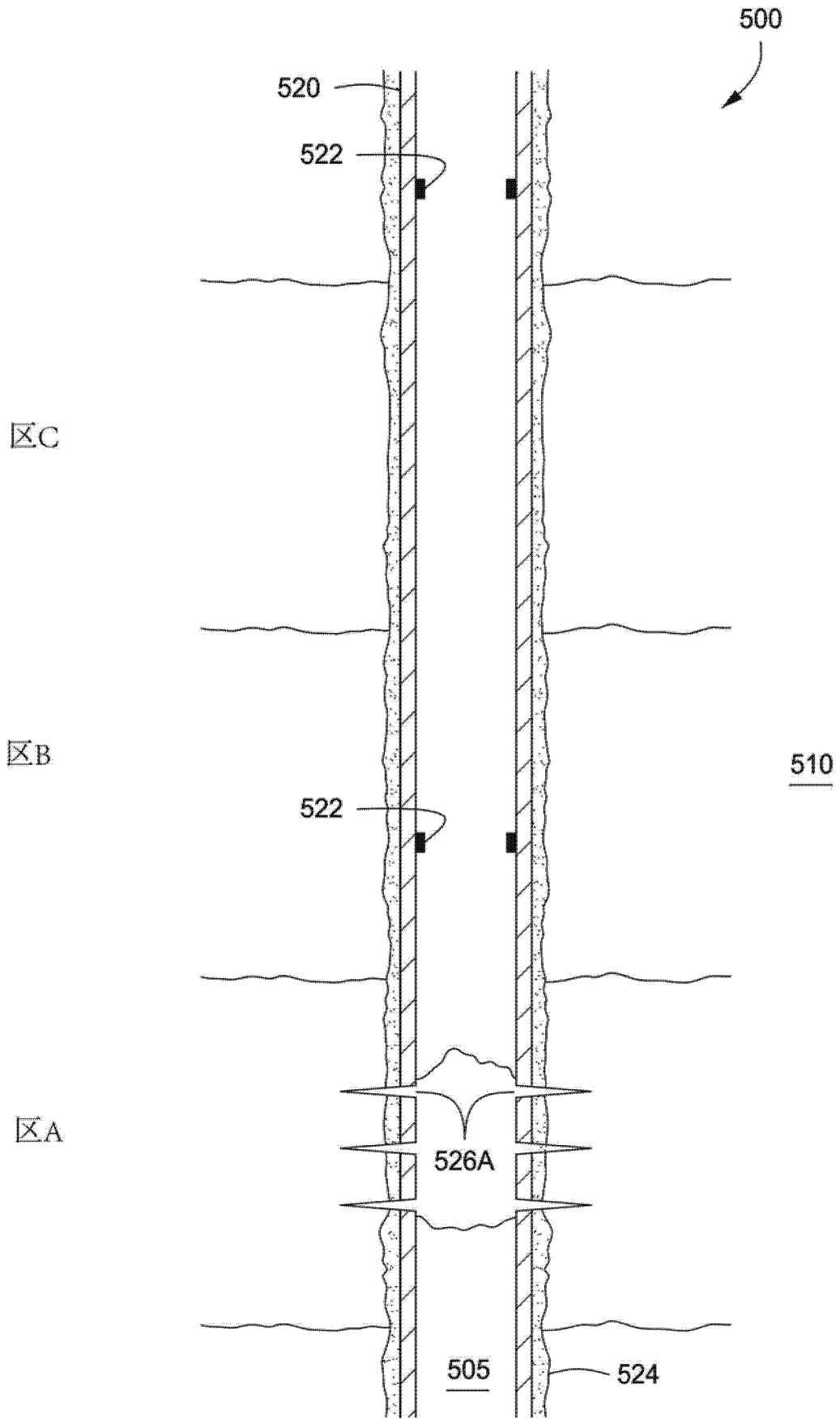


图 5D

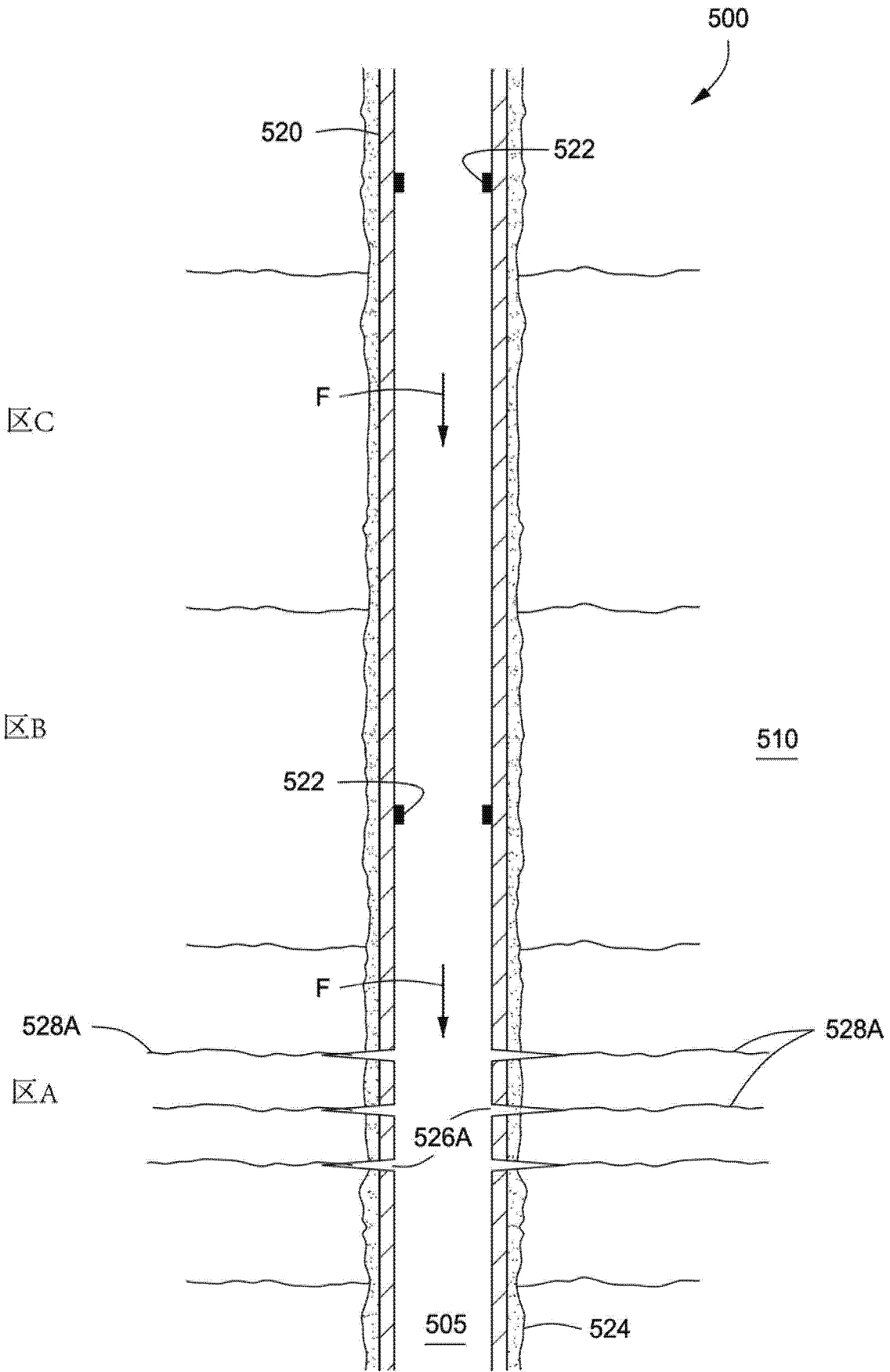


图 5E

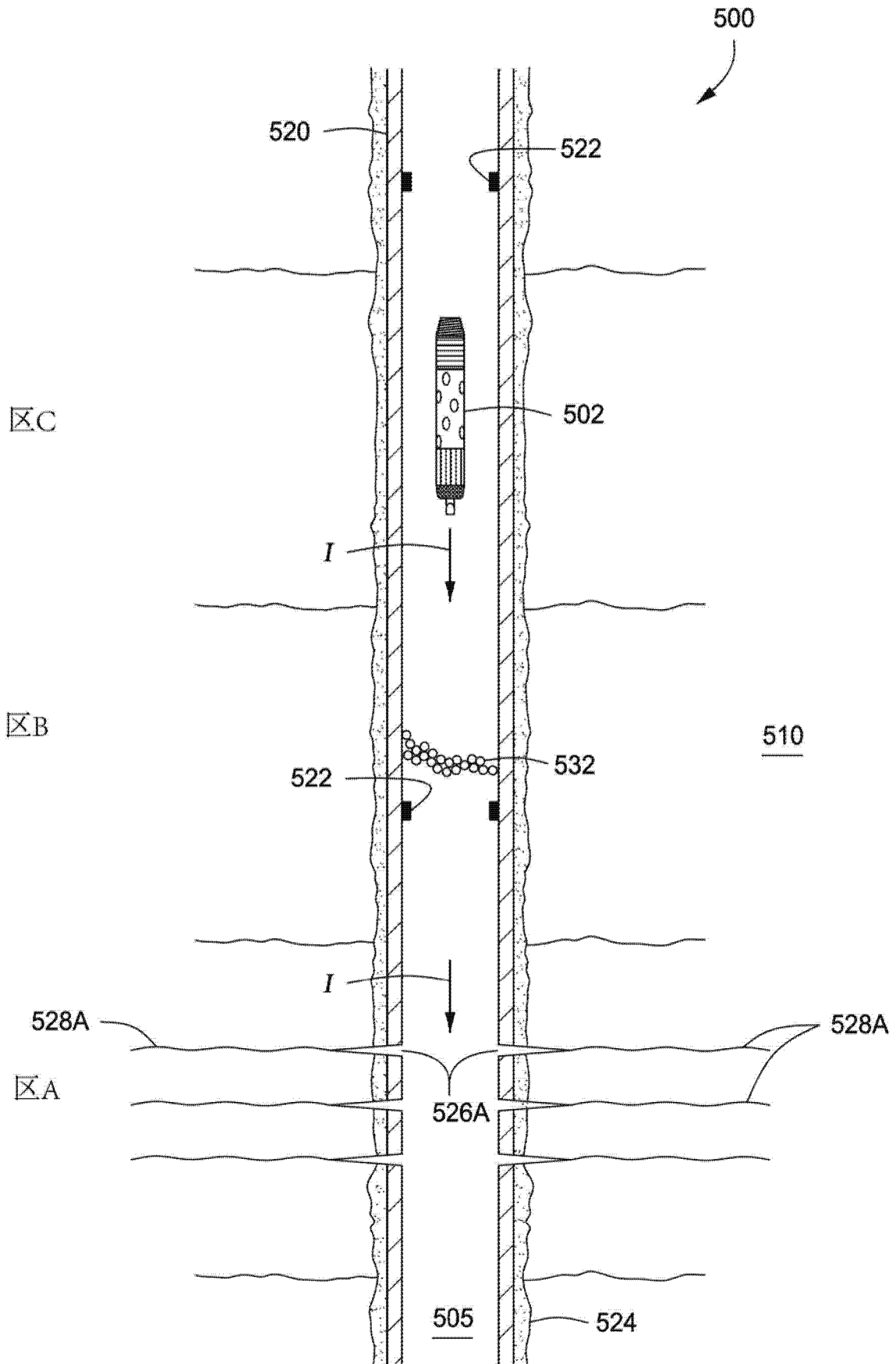


图 5F

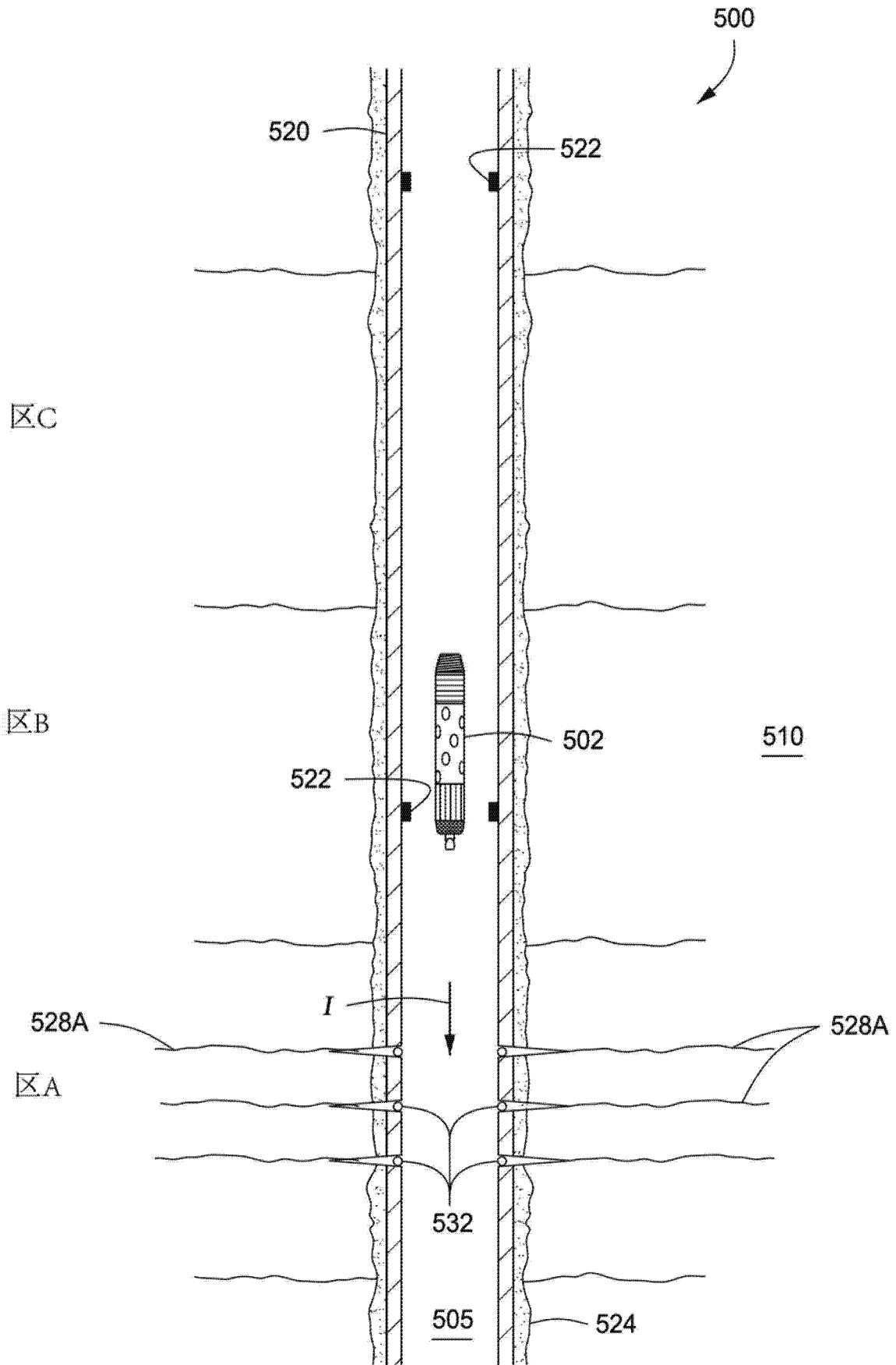


图 5G

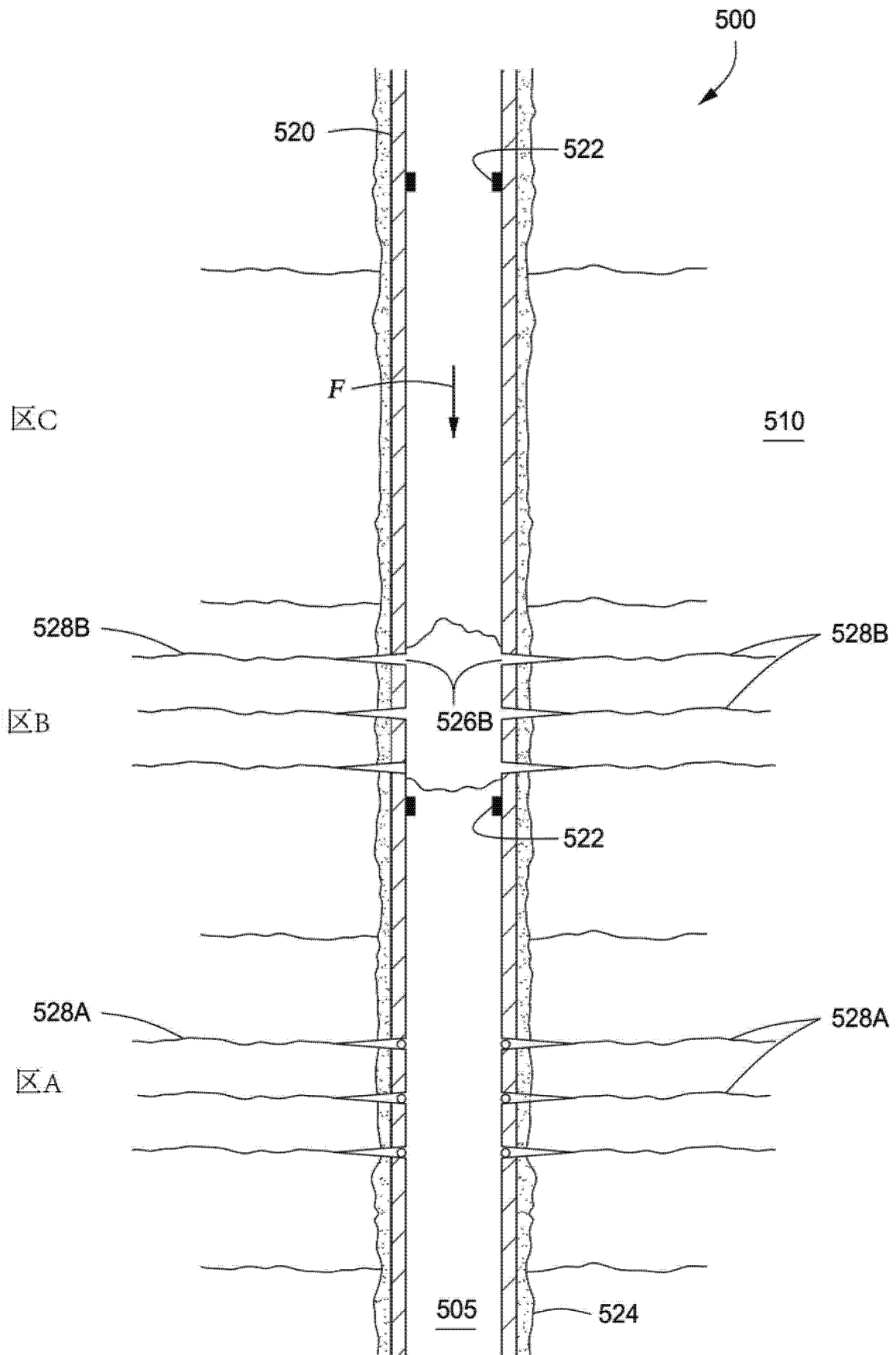


图 5H

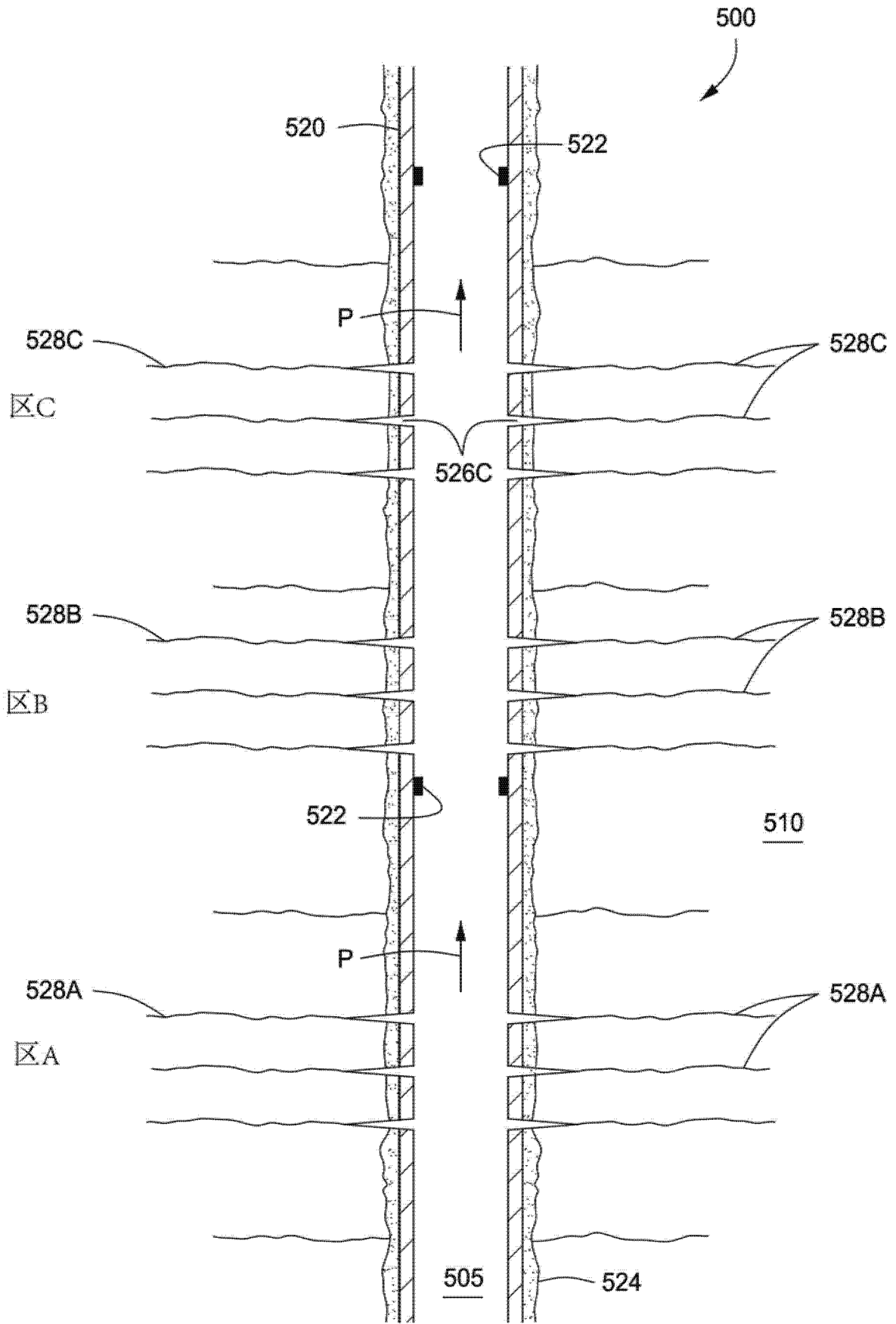


图 51

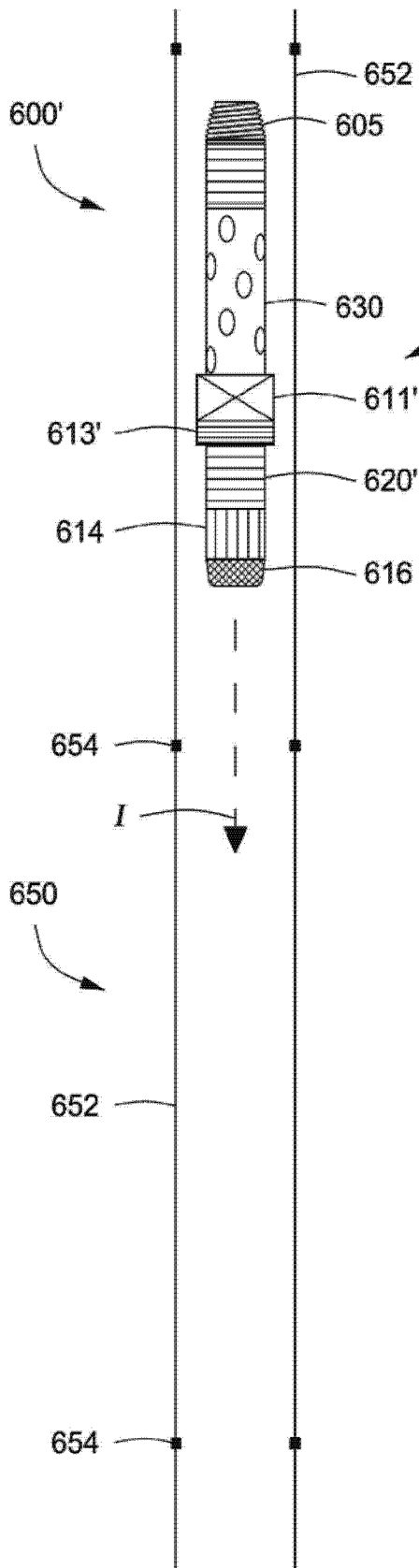


图6A

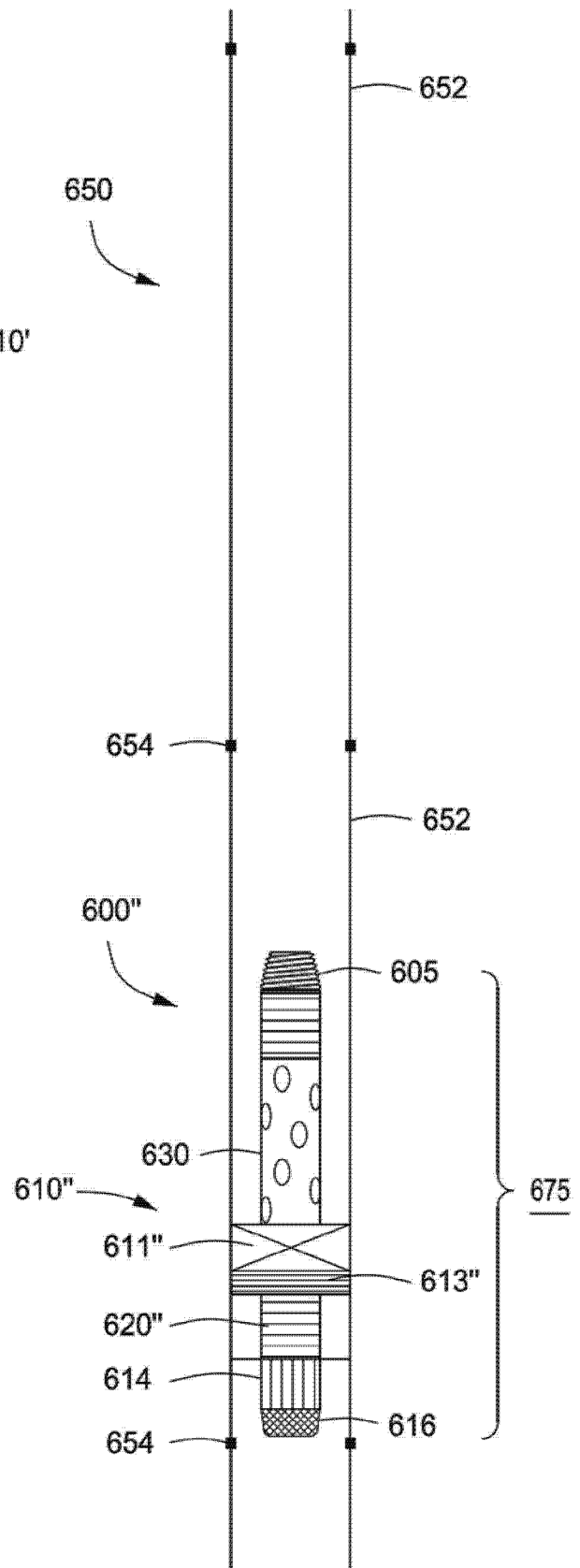


图6B

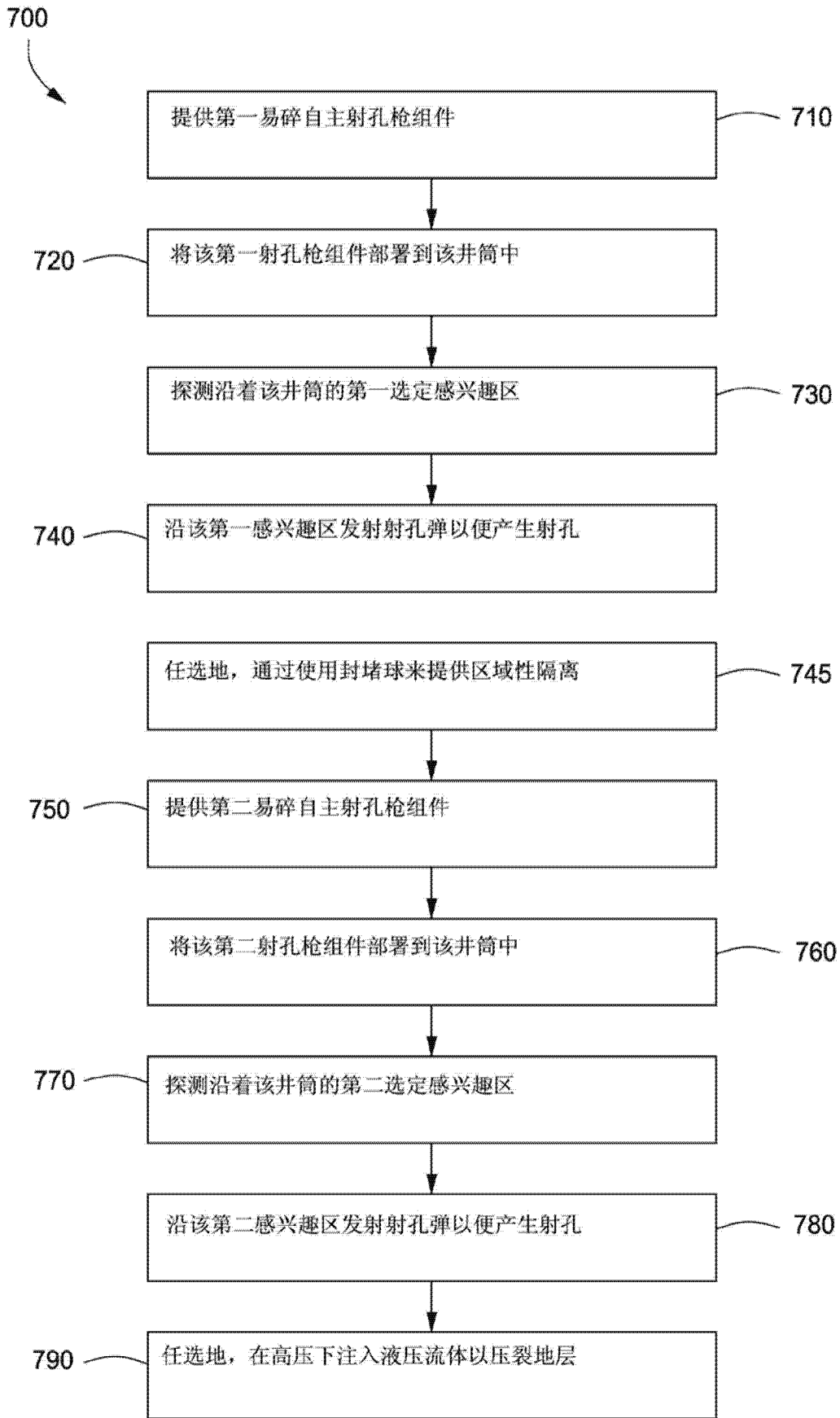


图 7

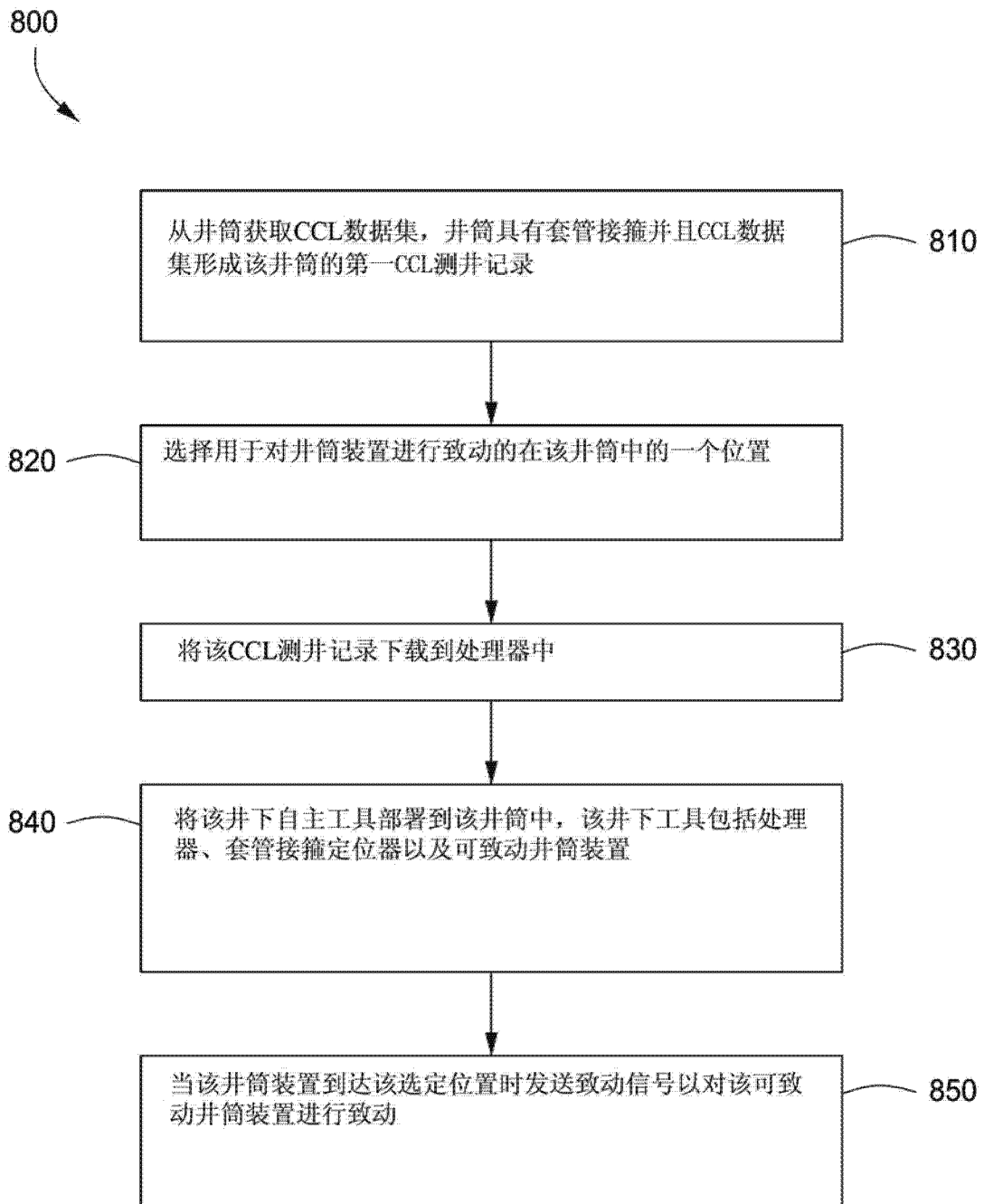


图 8

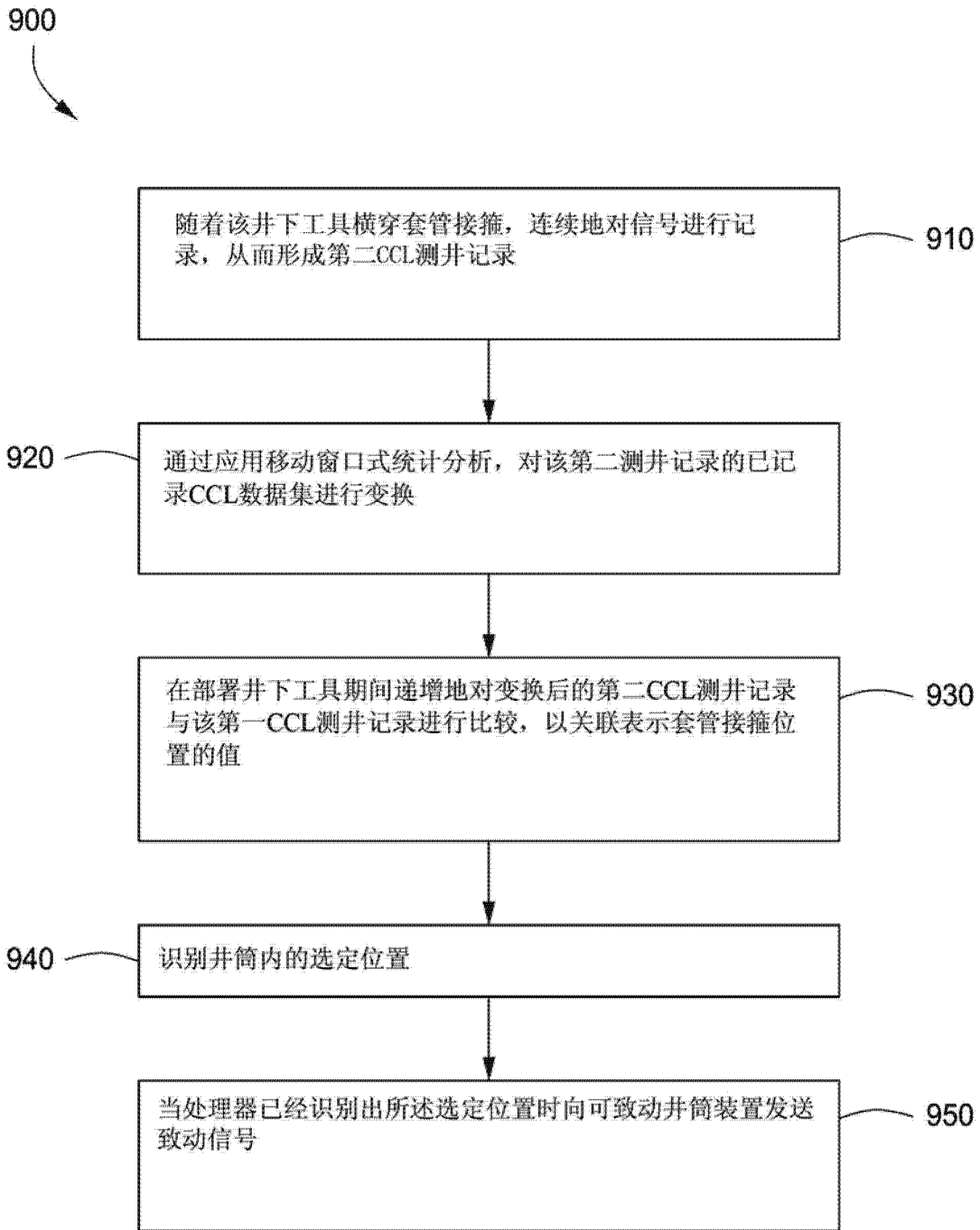


图 9

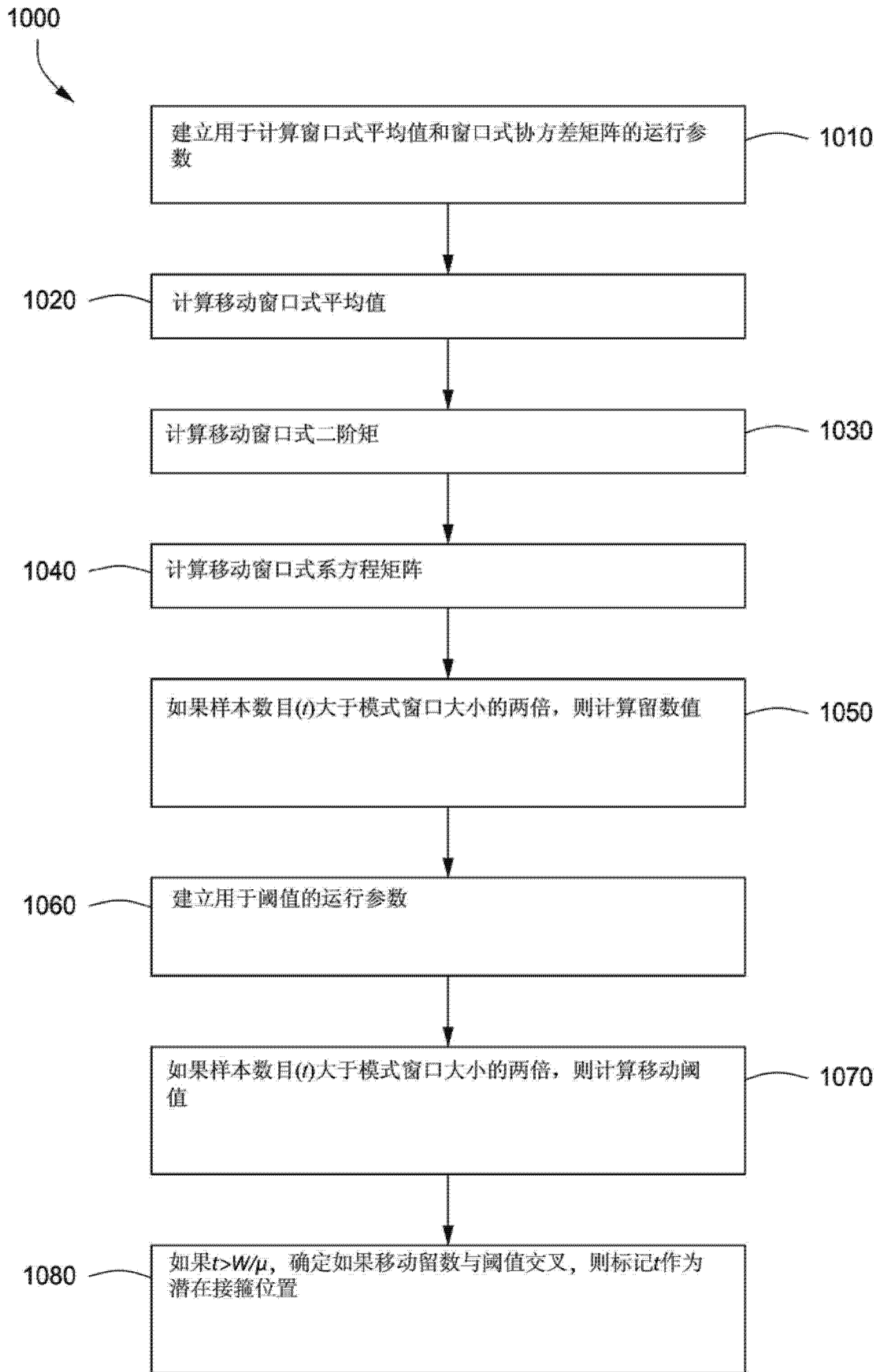


图 10

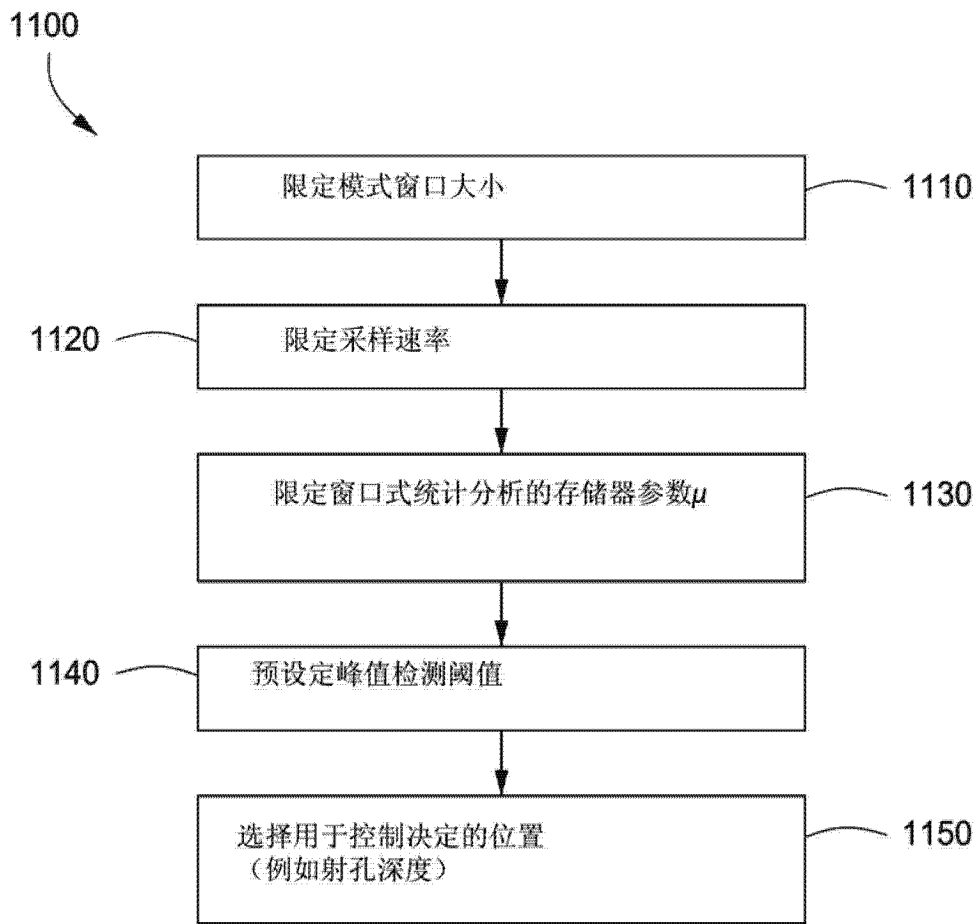


图 11

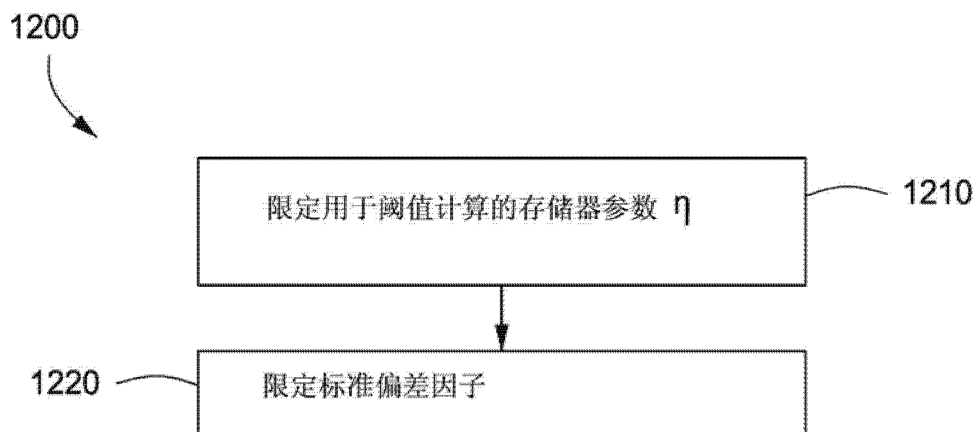


图 12

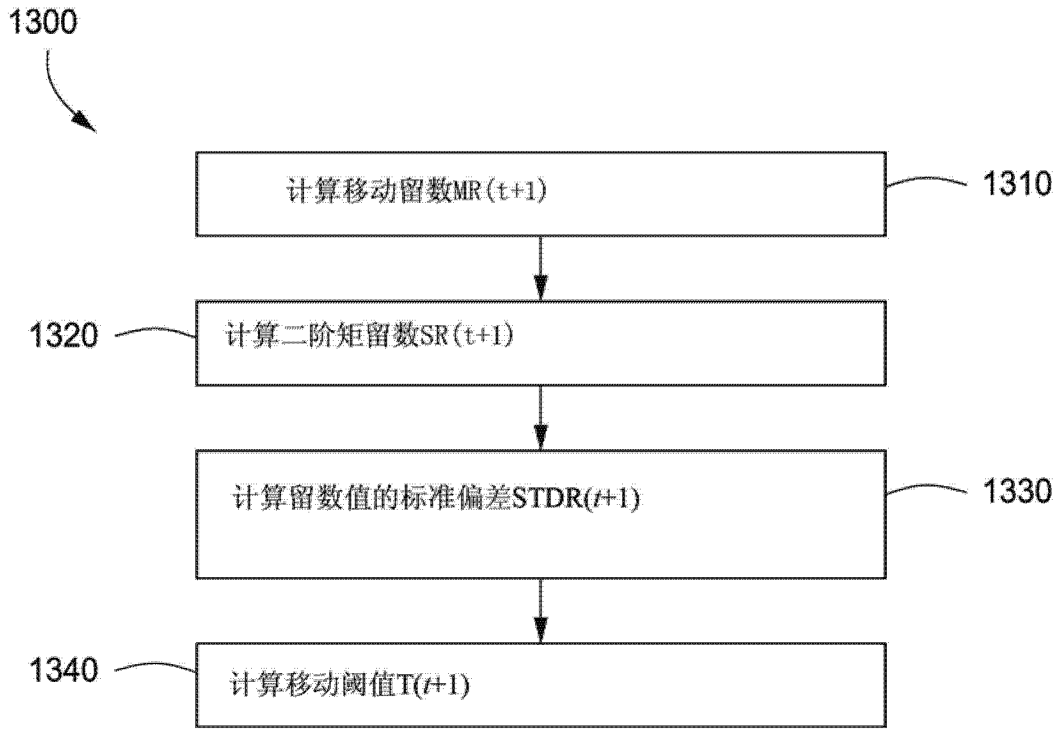


图 13

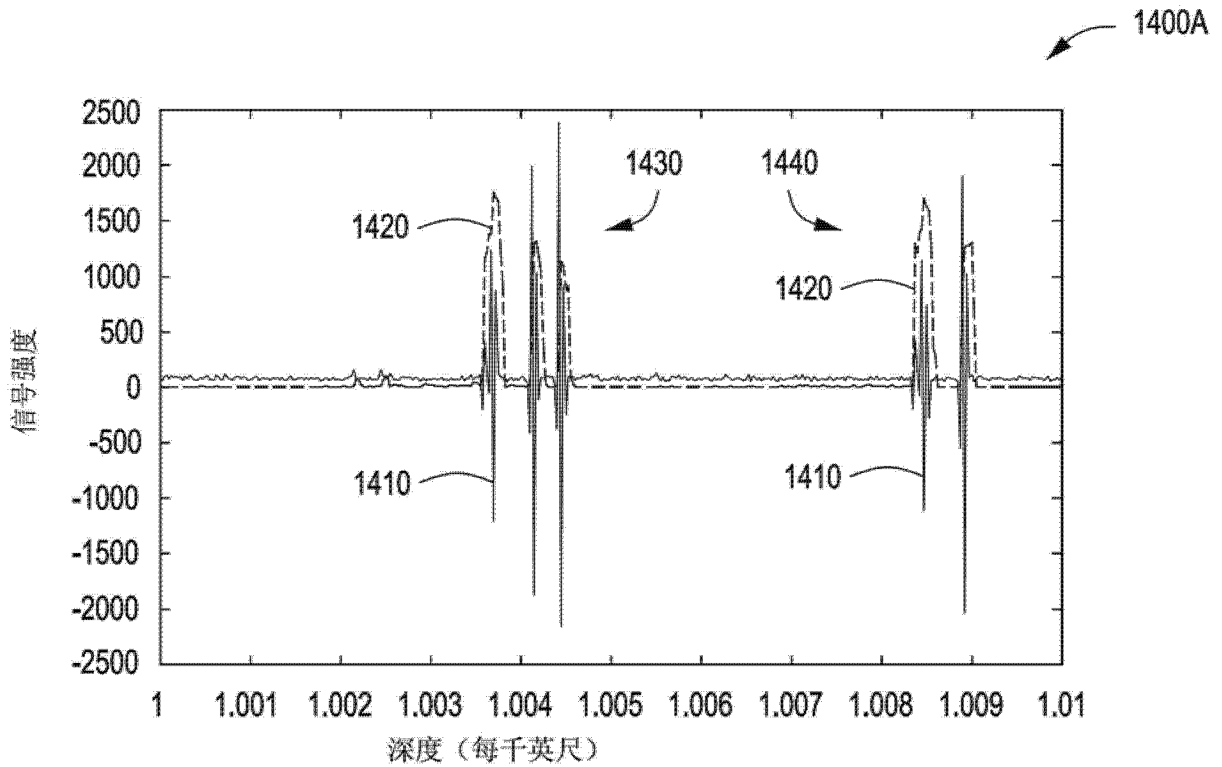


图 14A

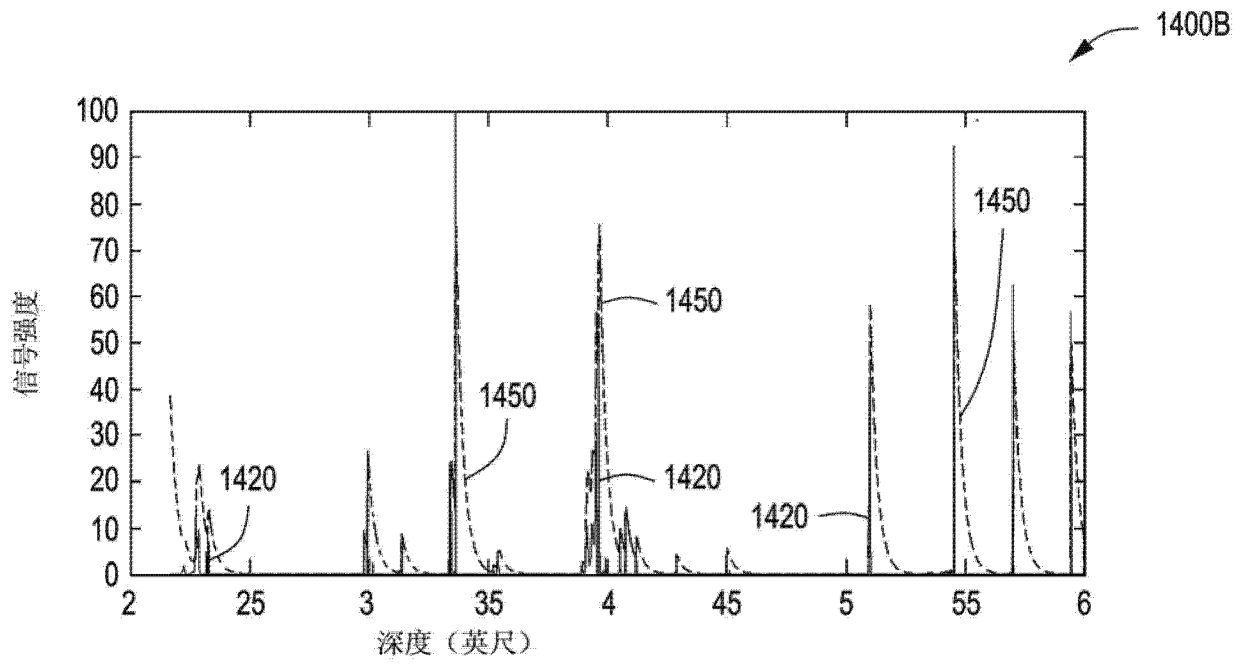


图 14B

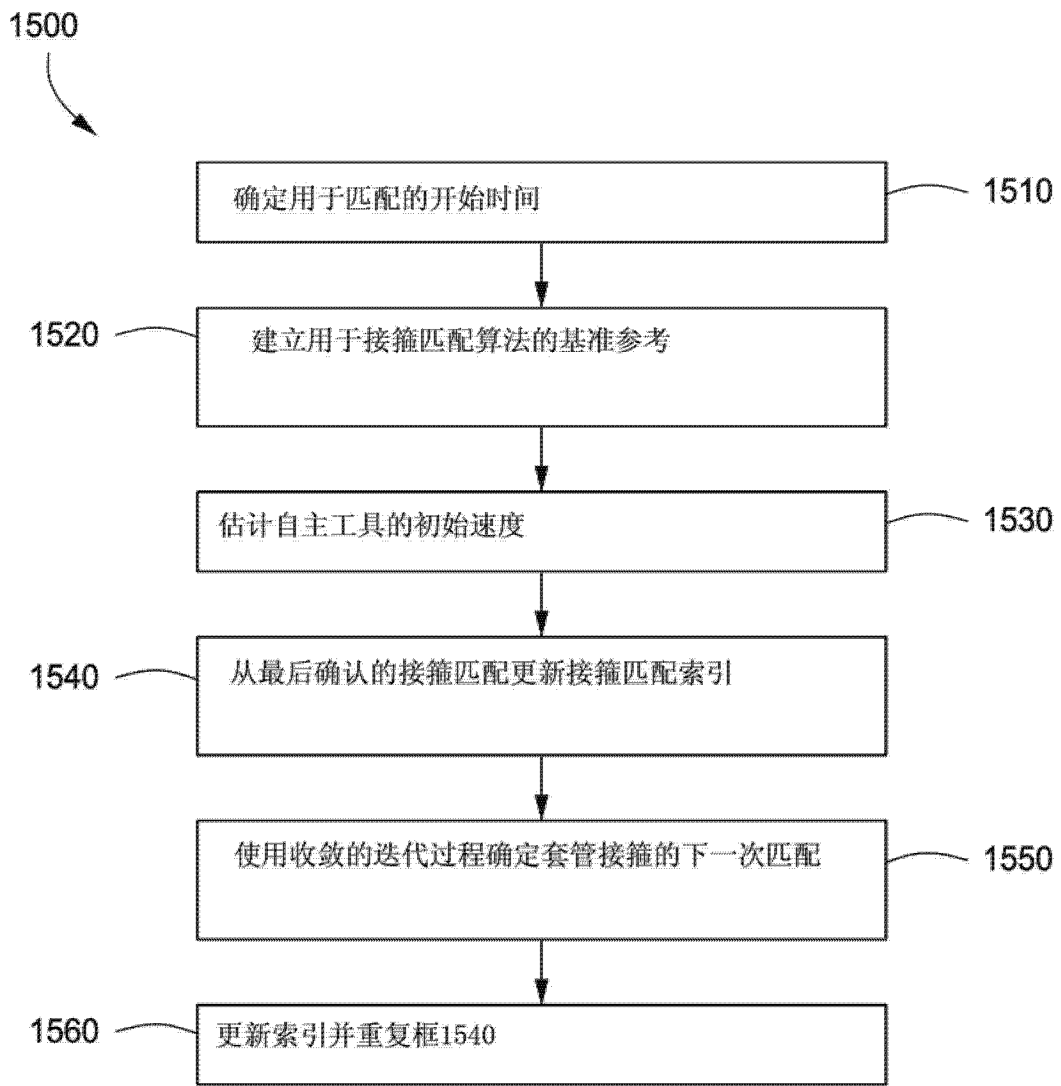


图 15

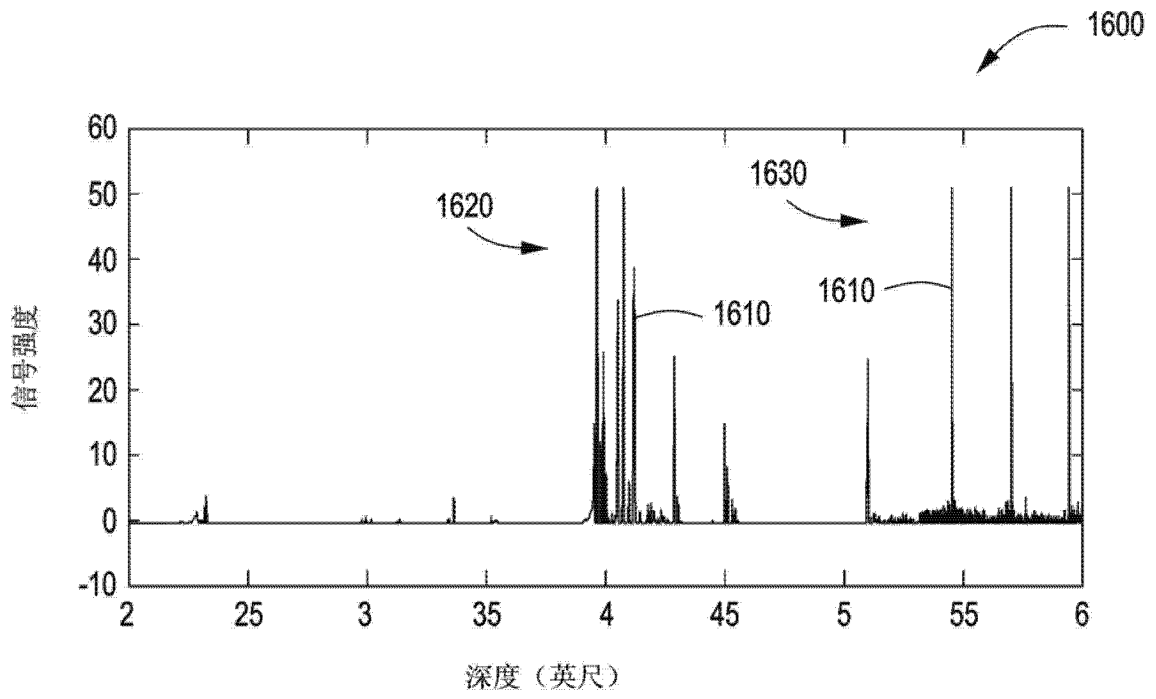


图 16

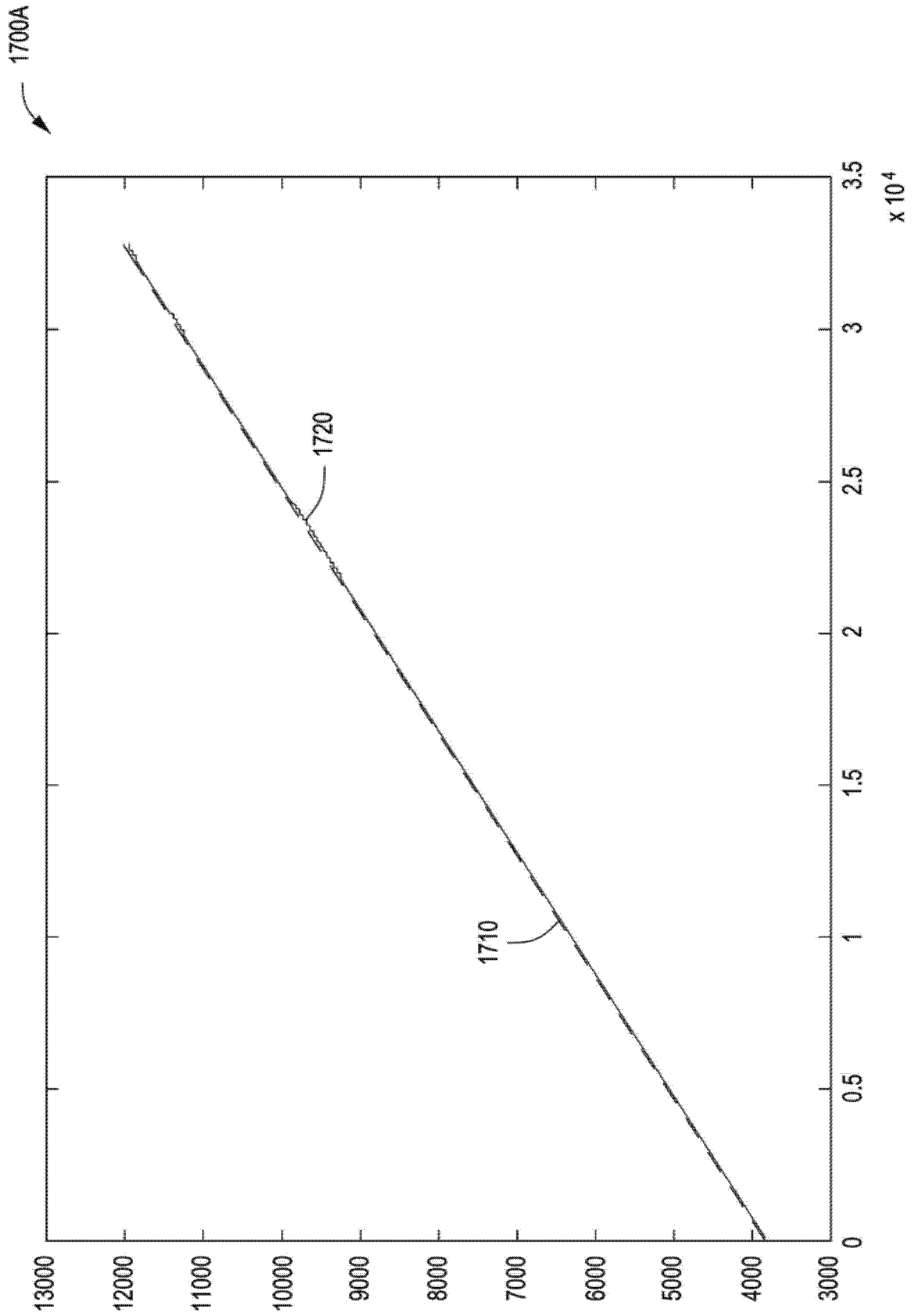


图 17A

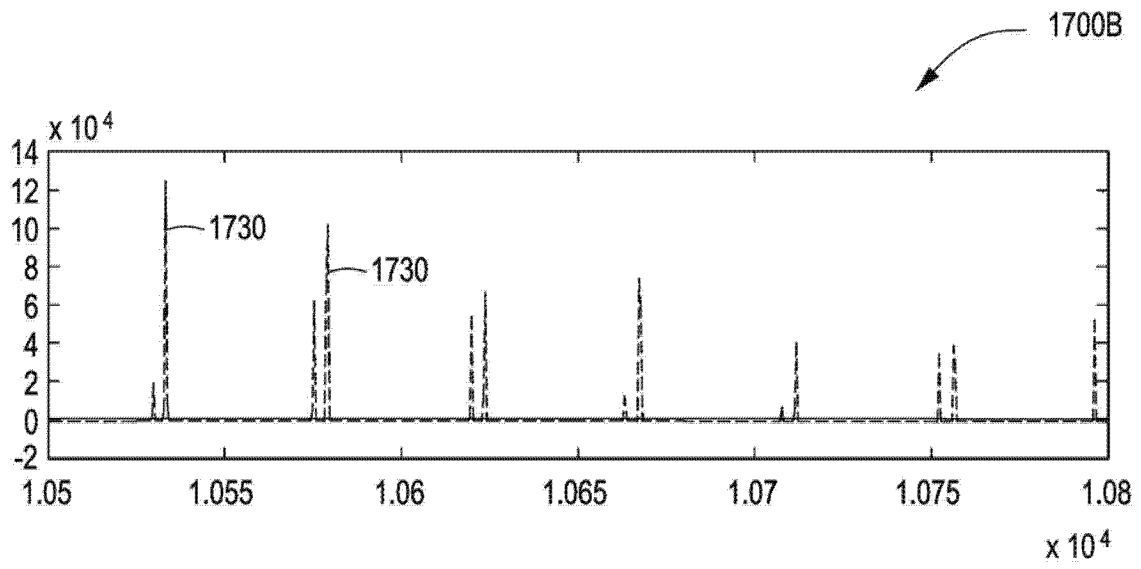


图 17B

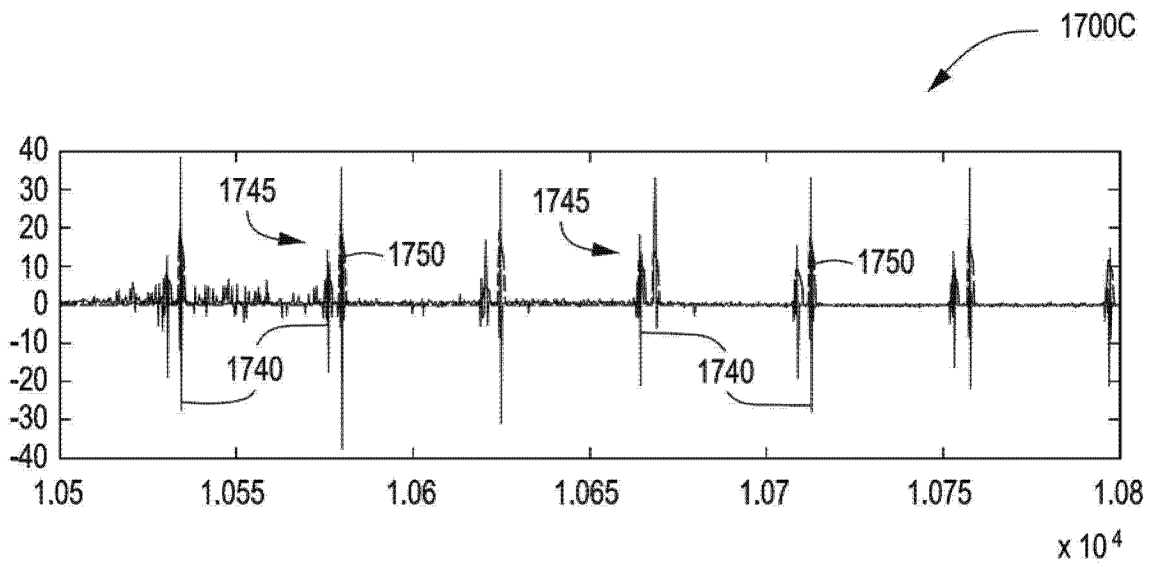


图 17C

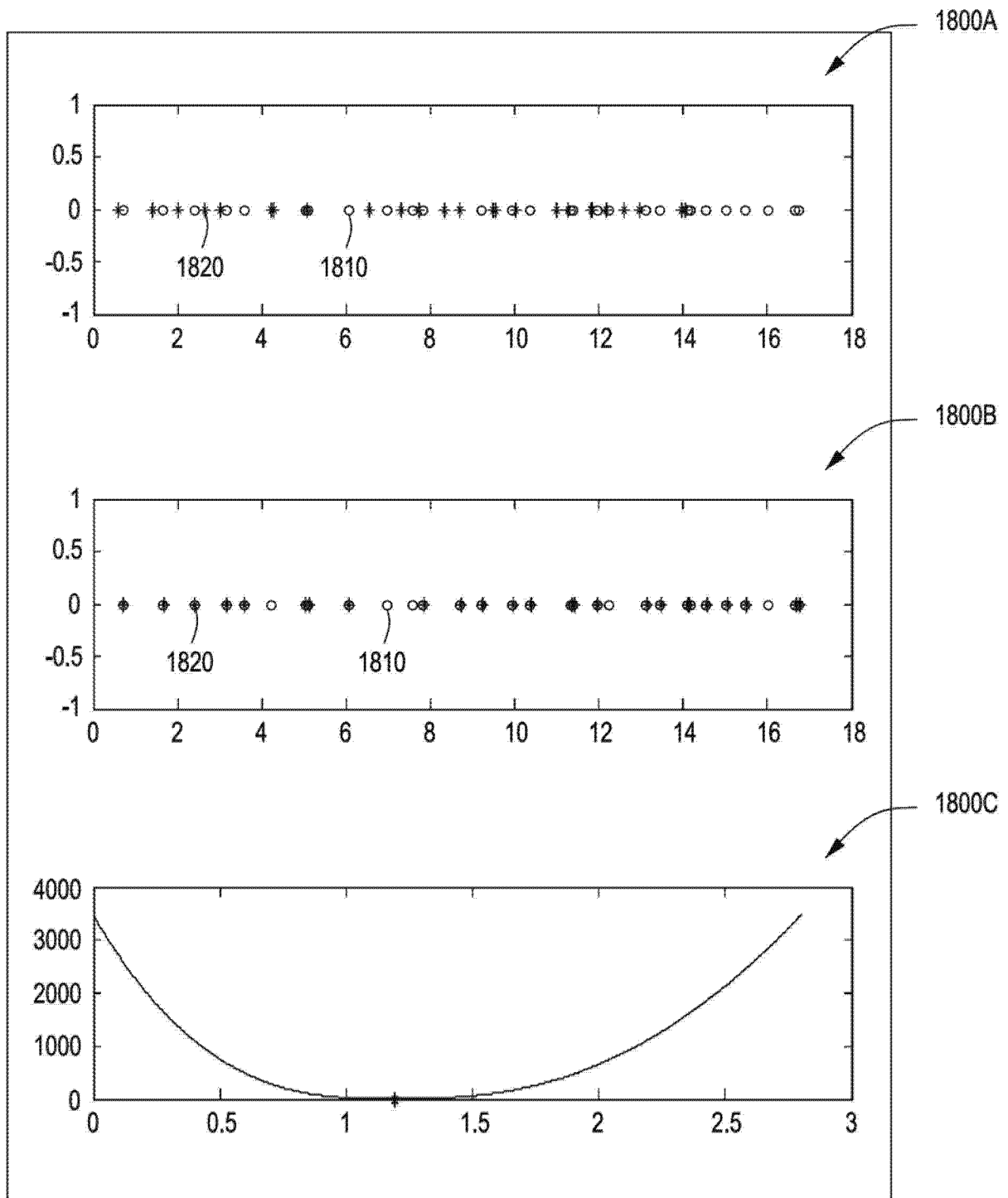


图 18