



(45)授权公告日 2017.05.03

迈克尔·约翰·麦克劳德·斯特罗恩

(74) 专利代理机构 隆天知识产权代理有限公司
72003

代理人 金鹏

(51) Int.Cl.

E21B 47/022(2012.01)

审查员 张海燕

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2011/040333 2011.06.14

(87)PCT国际申请的公布数据

W02012/173601 EN 2012.12.20

(73)专利权人 哈利伯顿能源服务公司

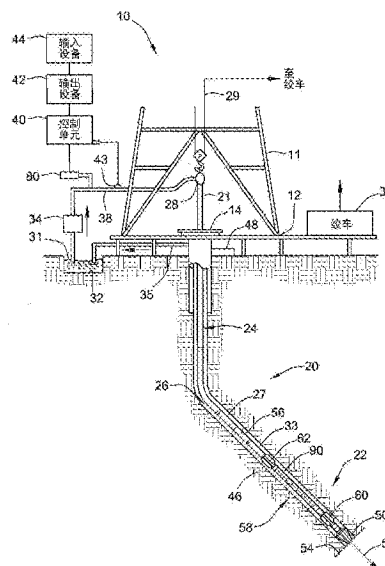
地址 美国得克萨斯州

(72)发明人 伊恩·戴维·坎贝尔·米切尔

权利要求书2页 说明书10页 附图4页

用于预测钻孔的几何形状的系统、方法和计算机程序

本文提供了一种用于测量和预测复杂钻孔几何形状的系统、方法和设备。公开了一种用于确定由钻柱产生的钻孔轨迹的方法。所述方法包括：在至少两个观测点之间接收表示一个或多个钻井参数的数据；在所述至少两个观测点之间以预定增量来平均化所接收到的数据；针对每个所述预定增量至少根据经过平均化的数据来计算预测的钻柱响应；针对每个所述预定增量至少根据所述预测的钻柱响应来确定倾角和方位角的改变；至少根据所述倾角和方位角的改变来产生预测的井眼轨迹；比较所述预测的井眼轨迹和测量到的井眼轨迹；以及如果比较结果有利，则针对每个所述预定增量至少根据所述倾角和方位角的改变来确定可能的钻孔位置。



1. 一种用于确定由钻柱产生的钻孔轨迹的方法,所述方法包括:
在至少两个观测点之间接收表示一个或多个钻井参数的数据;
在所述至少两个观测点之间对多个用户定义深度增量的每个用户定义深度增量中所接收到的数据进行平均化;
针对每个所述用户定义深度增量至少根据经过平均化的数据来计算预测的钻柱响应;
针对每个所述用户定义深度增量至少根据所述预测的钻柱响应来确定倾角和方位角的改变;
至少根据所述倾角和方位角的改变来产生预测的井眼轨迹;
比较所述预测的井眼轨迹和测量到的井眼轨迹;以及
如果比较结果有利,则针对每个所述用户定义深度增量至少根据所述倾角和方位角的改变来确定可能的钻孔位置;
其中所述比较结果有利包括所述预测的井眼轨迹与所述测量到的井眼轨迹之间的差异处于预定误差带内。
2. 根据权利要求1所述的方法,还包括:
如果所述比较结果不利,则通过应用带有统计偏差的校正因子来重新计算所述预测的钻柱响应。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中重复所述重新计算、所述确定、所述产生以及所述比较直到所述比较结果有利。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中在所述至少两个观测点中的第一观测点处确定所述预测的井眼轨迹,并且在所述至少两个观测点中的第二观测点处确定所述测量到的井眼轨迹。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述钻柱包括底部钻具组合BHA以及钻头,并且其中所述预测的钻柱响应包括预测的BHA响应和预测的钻头响应。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述接收到的数据包括依深度取值的所述一个或多个钻井参数的基于时间的测量值。
7. 根据权利要求1所述的方法,还包括:
针对每个所述钻井参数计算所述预测的钻柱响应。
8. 根据权利要求1所述的方法,还包括:
在所述至少两个观测点处均计算钻孔内的定向观测工具的偏差。
9. 根据权利要求8所述的方法,其中计算所述偏差至少部分基于BHA的复杂几何形状和刚度、所述钻孔的复杂几何形状、以及钻孔尺寸和形状中的至少一个。
10. 根据权利要求8所述的方法,还包括:
至少部分基于所述定向观测工具的所述偏差,针对每个所述用户定义深度增量来重新计算所述倾角和方位角的改变。
11. 根据权利要求8所述的方法,其中计算所述偏差至少部分基于钻杆钻井时所取的连续的观测测量值。
12. 根据权利要求1所述的方法,其中所述一个或多个钻井参数包括测量到的深度、钻柱转速、钻压、井下转矩、地表转矩、流进流量、地表压力、井下压力、流体密度、井下连续倾角测量值、钻头取向、钻头偏转、井眼尺寸、或估计钻头磨损、或者它们的组合。

13. 一种用于预测复杂钻孔的路径的系统,所述钻孔由定向钻井系统钻取,所述定向钻井系统具有至少一个感测设备,所述至少一个感测设备操作性连接到带有底部钻具组合BHA和钻头的钻柱,所述系统包括:

输入设备,配置为从用户接收输入;

控制器;

存储设备,存储多个指令,所述多个指令在由所述控制器执行时使所述控制器:

在第一观测点与第二观测点之间从所述至少一个感测设备接收表示多个钻井参数的测量值;

在所述第一观测点与所述第二观测点之间对多个用户定义深度增量的每个用户定义深度增量中所接收到的测量值进行平均化;

针对每个所述用户定义深度增量至少根据经过平均化的测量值来计算预测的BHA响应和预测的钻头响应;

针对每个所述用户定义深度增量至少根据所述预测的BHA响应和所述预测的钻头响应来确定倾角和方位角的改变;

至少根据所述倾角和方位角的改变在所述第一观测点处产生预测的井眼轨迹;

比较所述预测的井眼轨迹和在所述第二观测点处测量到的井眼轨迹;以及

如果比较结果有利,则针对每个所述深度增量根据所述倾角和方位角的改变来确定可能的钻孔位置;

其中所述比较结果有利包括所述预测的井眼轨迹与所述测量到的井眼轨迹之间的差异处于预定误差带内。

14. 根据权利要求13所述的系统,其中所述存储设备还存储指令以:

如果所述比较的结果不利,则通过应用带有统计偏差的校正因子来重新计算所述预测的钻柱响应;以及

重复所述指令以确定、产生和比较,直到所述比较的结果有利。

15. 根据权利要求13所述的系统,其中所述测量值包括依深度取值的所述多个钻井参数的基于时间的测量值。

16. 根据权利要求13所述的系统,其中所述存储设备还存储指令以:

针对所述多个钻井参数中的每个参数计算所述预测的BHA响应和所述预测的钻头响应。

用于预测钻孔的几何形状的系统、方法和计算机程序

技术领域

[0001] 本公开总体上涉及钻孔的映射和钻取,尤其涉及用于测量和预测复杂的钻孔几何形状的系统和方法。

背景技术

[0002] 钻孔,通常也被称为“井眼”和“钻眼”,钻孔被建立用于各种用途,包括用于定位不同的天然资源的地下贮藏的勘探性钻井、用于提取这样的贮藏的采矿作业、以及用于安装地下设施的施工项目。一个常见的误解是,所有钻孔均与钻机竖直对齐,然而,很多应用需要钻取带有竖直偏离及水平几何形状的钻孔。用于钻取水平的、竖直偏离的及其他复杂钻孔的已知技术是定向钻井。定向钻井一般典型地为凿出这样的孔的过程,该孔的特征为在土地中钻孔的路线在非竖直方向上,即,轴线与竖直平面成一角度(称为“垂直偏差”),并且定向在方位角平面上。

[0003] 常规的定向凿井技术传统上由凿井设备来操作,凿井设备推动或操纵在其远端带有可定向钻头的一连串相连接的钻杆来获得复杂的钻孔几何形状。在勘探和采收诸如石油和天然气等地下碳氢化合物贮藏中,通常用附接到底部钻具组合或者“BHA”的一端的可旋转钻头来钻取定向钻孔。可操纵的BHA可以包括,例如正位移马达(positive displacement motor, PDM)或者“泥浆马达”、钻铤、扩孔器、冲击钻(shock),以及用以扩大井眼的扩孔工具。稳定器可以附接到BHA以控制BHA的弯曲来在所需的方向(倾角和方位角)上定向钻头。BHA依次附接到管组件的底部,管组件常包括接合管或相对柔性的“可绕式(spoolable)”管,也称为“连续管(coiled tubing)”。此定向钻井系统,即操作性互连管道、钻头和BHA,通常被称为“钻柱”。当在钻柱中使用接合管时,可以通过从地表旋转接合管来旋转钻头,或者通过包含在BHA中的泥浆马达的操作来旋转钻头。与此相反,使用连续管的钻柱通常经由BHA中的泥浆马达来旋转钻头。

[0004] 不论井型面如何,无论其为水平的、偏离的、竖直的或者其任何合逻辑的组合,都必须尽可能精确地映射钻孔轨迹以优化碳氢化合物贮藏的采集。从以往来看,井眼的路径或其“轨迹”是通过收集沿井眼路径的离散位置(“观测点”)处的一系列方向和倾角(“D&I”)的测量值(诸如倾角和方位角)来确定。由这些角度测量值,连同钻柱的已知长度,可以构建井眼轨迹的理论模型。方位角和倾角可以通过沿钻柱放置的观测传感器来测量。这些测量值可能受钻柱或钻井环境的意外改变的影响。例如,附接传感器的钻柱的一部分可能弯曲或者“凹陷(sag)”,其可能导致钻孔中心线不一定指向与带有传感器的工具的中心线相同的方向。

[0005] 钻井行业目前的做法是通过计算由井下观测仪器测量到的计算观测点(站)之间的曲率来确定钻孔位置曲率。最常用于定义井轨迹的该方法称为最小曲率法,描述在例如由S.J.Sawaryn和J.L.Thorogood在“A Compendium of Directional Calculations Based on the Minimum Curvature Method(基于最小曲率法定向计算的纲要)”,SPE Annual Technical Conference and Exhibition(SPE年度技术会议及展览),Denver(丹佛),

Colorado (科罗拉多), 10月5-8日 (2003) 中, 其全文通过引用合并与此。使用这种方法, 由被圆弧连接的一系列切向量来表示井眼轨迹。其他的点、线和面的集合可以用于表示诸如相邻的井、租用线路 (lease line)、地标和故障的特征。这些对象之间的关系具有简单的几何演绎, 使其服从数学处理。

[0006] 准确的钻孔位置在与其他井的分离的确定、石油和天然气田的划分、以及油储层中的石油的体积的计算中非常重要。在实际钻井作业中, 钻井工具所取的路径不沿单一恒定的曲线, 而是由一系列不同程度的曲线构成。在最小曲率法中当计算井眼位置时不考虑观测点之间的井眼轨迹的变化。这样, 通常用于定义井轨迹的目前的方法不能提供最准确的钻孔位置和曲率。此外, 当校正测量点处所取的测量值的偏差时, 不考虑复杂的钻孔形状内的钻井工具的偏差。目前的做法通常是基于最小曲率钻孔形状校正钻孔偏差。这种做法不能令人满意地抵消钻孔偏差。

[0007] 因此, 需要更好地确定观测站之间的井眼路径并且更加准确地计算井眼位置。

发明内容

[0008] 根据本公开的方案, 提供了一种用于确定钻孔轨迹的方法。所述方法包括: 在至少两个观测点之间接收表示一个或多个钻井参数的数据; 在所述至少两个观测点之间对多个用户定义深度增量的每个用户定义深度增量中所接收到的数据进行平均化; 针对每个所述用户定义深度增量至少根据经过平均化的数据来计算预测的钻柱响应; 针对每个所述用户定义深度增量至少根据所述预测的钻柱响应来确定倾角和方位角的改变; 至少根据所述倾角和方位角的改变来产生预测的井眼轨迹; 比较所述预测的井眼轨迹和测量到的井眼轨迹; 以及如果比较结果有利, 则针对每个所述预定增量至少根据所述倾角和方位角的改变来确定可能的钻孔位置; 其中所述比较结果有利包括所述预测的井眼轨迹与所述测量到的井眼轨迹之间的差异处于预定误差带内。

[0009] 根据本公开的其他方案, 公开了一种计算机程序产品, 其包括非暂存性计算机可读介质, 所述非暂存性计算机可读介质具有由其承载的指令集合, 所述指令集合配置为在由一个或多个控制器执行时引起下述动作: 在至少两个观测点之间以预定增量来平均化测量到的数据集合, 所述数据集合表示多个钻井参数; 针对每个所述预定增量至少根据经过平均化的数据集合来计算预测的钻柱响应; 针对每个所述预定增量至少根据所述预测的钻柱响应来确定倾角和方位角的改变; 至少根据所述倾角和方位角的改变来产生预测的井眼轨迹; 比较所述预测的井眼轨迹和测量到的井眼轨迹; 如果比较结果不利, 则通过应用带有统计偏差的校正因子来重新计算所述预测的钻柱响应, 并且重复所述确定、产生和比较的动作; 以及如果所述比较结果有利, 则针对每个预定增量根据所述倾角和方位角的改变来确定可能的钻孔位置。

[0010] 根据本公开的其他方案, 特征为一种用于预测复杂钻孔的路径的系统。所述钻孔可以由定向钻井系统钻取, 所述定向钻井系统具有至少一个感测设备, 所述至少一个感测设备操作性连接到带有底部钻具组合 (BHA) 和钻头的钻柱。所述系统包括: 输入设备, 配置为从用户接收 (多个) 输入; 控制器; 存储设备, 存储多个指令。当由所述控制器执行所述多个指令时, 这些指令使所述控制器: 在第一观测点与第二观测点之间从所述至少一个感测设备接收表示多个钻井参数的测量值; 在所述第一观测点与所述第二观测点之间对多个用

户定义深度增量的每个用户定义深度增量中所接收到的测量值进行平均化;针对每个所述用户定义深度增量至少根据经过平均化的测量值来计算预测的BHA响应和预测的钻头响应;针对每个所述用户定义深度增量至少根据所述预测的BHA响应和所述预测的钻头响应来确定倾角和方位角的改变;至少根据所述倾角和方位角的改变在所述第一观测点处产生预测的井眼轨迹;比较所述预测的井眼轨迹和在所述第二观测点处测量到的井眼轨迹;以及如果所述比较结果有利,则针对每个所述深度增量根据所述倾角和方位角的改变来确定可能的钻孔位置;其中所述比较结果有利包括所述预测的井眼轨迹与所述测量到的井眼轨迹之间的差异处于预定误差带内。

[0011] 上面的概括无意表示本公开的每个实施例或每一个方案。相反,上面的概述仅仅提供一些新颖方案和本文所阐述的特征的示例。通过下面结合附图和所附权利要求对于实施本发明的示例性实施例和最佳模式的详细描述,本公开的上述特征和优点以及其他特征和优点将变得显而易见。

附图说明

[0012] 图1是根据本公开的方案的示例性钻井系统的示意图。

[0013] 图2是根据本公开的方案的示例性底部钻具组合(BHA)的示意图。

[0014] 图3是根据本公开的方案,表示与可以由例如控制器或处理器执行的指令对应的方法或算法的流程图。

[0015] 图4是示出在不同测量深度处示例性对于旋转可操纵组件的计算建造速度和使用示例性近钻头倾角传感器的计算建造速度的曲线图。

[0016] 易于对本公开做出各种修改及替代形式,同时已经在附图中以示例的方式示出具体实施例并将在本文中详细描述。然而,应当理解的是,本公开无意限定于所公开的特定形式。相反,本公开意图覆盖落入由所附权利要求书限定的本发明的精神和范围内的所有修改、等同方案和替代方案。

具体实施方式

[0017] 本公开易于以许多不同形式实施。在附图中示出并将在本文中详细描述本发明的代表性实施例,应理解本公开应视为本发明的原理的示例并且无意将本发明的宽泛方案限定于所示的实施例。

[0018] 现在参照附图,其中通篇几个视图中类似的附图标记表示相同的元件,图1示出根据本公开的方案的示例性定向钻井系统,一般性地标示为10。许多公开的概念是参照用于勘探和采收诸如石油和天然气等地下碳氢化合物贮藏的钻井作业来讨论的。然而,所公开的概念并不限于此,并且可以应用到其他钻井作业。为此,本发明的方案并不局限于图1和图2所呈现的布置和部件。此外,应当理解的是,附图不一定按比例绘制,并且仅用于描述的目的;因此,附图中所呈现的单独和相对的尺寸和取向不应视为限制。有关定向钻井系统的附加信息,可以在例如来自Michael Strachan等、名称为“Method and System for Predicting Performance of a Drilling System Having Multiple Cutting Structures (用于预测具有多个切削结构的钻井系统的性能的方法和系统)”的美国专利申请公开第2010/0259415 A1号中找到,其全文通过引用合并于此。

[0019] 图1中所示例的定向钻井系统10包括由钻台12支持的塔架,或如在本领域中最常被称之为的“井架”11。钻台12支撑在所需的转速下被驱动旋转的旋转台14,例如通过原动机(未示出)的操作经由链条驱动系统来驱动。旋转台14进而向钻柱20提供必要的旋转力。包括钻杆部24的钻柱20从旋转台14向下延伸进入定向钻孔26。如在附图中所示,钻孔26可以沿多维路径或“轨迹”行进。图1中的钻孔26的底部54的三维方向由指示矢量52表示。

[0020] 钻头50附接到钻柱20的远侧的井下端。当例如经由旋转台14旋转时,钻头50操作以断裂开并一般性地崩解地质构造46。钻柱20例如通过滑轮系统(未示出)经由方杆接头21、转头28和管线29联接到“绞车”起重设备30。绞车30可以包括各种组件,包括刹车鼓(drum)、一个或多个马达、减速齿轮、主制动器和辅助制动器。在一些实施例中,在钻井操作中,可以操作绞车30以控制钻头50的钻压和钻柱20进入钻孔26的穿透速率。绞车30的操作是已知的,因而不在于本文中详细描述。

[0021] 在钻井作业中,可以通过钻柱20由液压“泥浆泵”34在压力下将合适的钻井流体(本领域中通常称为“泥浆”)31,从泥浆池32循环进入钻孔26。钻井流体31可以包括:例如,通常包括“水和粘土”基组合物的水基泥浆(WBM)、基液是诸如柴油燃料等石油产品的油基泥浆(OBM)、基液是合成油的合成基泥浆(SBM)、以及气态的钻井液。钻井流体31从泥浆泵34穿过经由流体管道(通常称为“泥线”)38和方杆接头21进入钻柱20。钻井流体31在钻孔底部54处通过钻头50中的开口排出,并且通过在钻柱20与钻孔26的侧部之间的环形空间27在“上井(uphole)”方向上朝向地表循环。在钻井流体31靠近旋转台14时,其经由返回管线35排到泥浆池32中。适当地部署在钻孔26的地表上的各种地表传感器48,单独操作或与部署在钻孔26内的井下传感器70、72一同操作,以提供关于各种与钻井相关的参数的信息,诸如流体流量、钻压、钩载荷等,下面将进一步详细说明。

[0022] 地表控制单元40可以经由可放置在流体管线38上的传感器或换能器43从地表和井下传感器及设备接收信号。地表控制单元40可以是可操作的,以根据提供给地表控制单元40的编程指令来处理信号。地表控制单元40可以经由诸如显示器、计算机监视器、扬声器、灯等的一个或多个输出设备42将所需的钻井参数和其他信息呈现给操作员,操作员可以用其控制钻井作业。地表控制单元40可以包含计算机、用于存储数据的存储器、数据记录器以及其他已知的和此后开发的外围设备。地表控制单元40还可以包括模型并可以根据编程指令处理数据,并响应通过可以是键盘、触摸屏、麦克风、鼠标、操纵杆等性质的合适的输入设备键入的用户指令。

[0023] 在本公开的一些实施例中,可旋转钻头50附接在可操纵的钻井底部钻具组合(BHA)22的远端。在所示的实施例中,BHA 22联接在钻头50和钻柱20的钻杆部24之间。BHA 22可以包括带有各种传感器以提供关于岩层46和井下钻井参数的随钻测量(MWD)系统,在图1中一般性地标示为58。BHA 22中的MWD传感器可以包括但不限于:用于测量靠近钻头的岩层电阻率的设备、用于测量岩层伽马射线强度的伽马射线设备、用于确定钻柱倾角和方位角的设备、以及用于测量井下钻井流体压力的压力传感器。MWD还可以包括用于测量冲击、振动、转矩、遥测等的附加的/替代的感测设备。上述设备可以将数据发送到井下发射器33,发射器33转而将井下数据发送到地表控制单元40。在一些实施例中,BHA 22还可以包括随钻测井(LWD)系统。

[0024] 在一些实施例中,泥浆脉冲遥测技术可以用于在钻井作业中从井下传感器和设备

通信数据。在来自Christopher A.Golla等的美国专利第7106210 B2号中描述了泥浆脉冲遥测技术的示例性方法和装置,其全文通过引用合并于此。可以不偏离本公开的预期范围使用的其他已知的遥测方法包括电磁遥测、声学遥测和有线钻杆遥测等等。

[0025] 放置在泥浆供给线38中的换能器43检测响应于由井下发射器33发送的数据的泥浆脉冲。换能器43则进而响应于泥浆压力变化而产生电信号并将这样的信号发送到地表控制单元40。可替代地,可以使用其他遥测技术,诸如电磁和/或声学技术或任何其他已知的或此后开发的合适的技术。举例而言,硬线连接的钻杆可以用于在地表和井下设备之间通信。在另一个示例中,可以使用所描述的技术的组合。如图1所示,地表发射接收器80使用例如任何所描述的发送技术,诸如泥浆脉冲遥测技术来与井下工具通信。这可以使得地表控制单元40能够与如下所述的井下工具双向通信。

[0026] 根据本公开的方案,BHA 22为钻头50提供必要的力以断裂岩层46(称为“钻压”),并且为钻取钻孔26提供必要的方向控制。在图1和图2所示的实施例中,BHA 22可以包括钻井马达90以及第一和第二纵向间隔的稳定器60和62。稳定器60、62中的至少一个可以是可调节的稳定器,其是可操作的,以有助于控制钻孔26的方向。可选的,可以在可操纵的定向钻进系统10的BHA 22中使用径向可调节稳定器来调节BHA 22相对于钻孔26的轴线的角度。径向可调节稳定器提供比常规的固定直径稳定器可用的范围更宽范围的定向可调节性。此可调节性通过允许在井下调节BHA 22而不是通过跳闸来改变从而节省了大量钻机时间。然而,即使是径向可调节稳定器也仅提供有限的范围的方向性调整。关于可调节稳定器及其在定向钻井系统中的使用的附加信息可以在来自Clive D.Menezes等、名称为“Borehole Drilling Apparatus, Systems, and Methods (钻孔钻取装置、系统和方法)”的美国专利申请公开第2011/0031023A1号中找到,其全文通过引用合并于此。

[0027] 如图2的实施例所示,钻头50和第一稳定器60之间的距离(表示为 L_1)可以是确定BHA 22的弯曲特性的因素。同样地,第一稳定器60和第二稳定器62之间的距离(表示为 L_2)可以是确定BHA 22的弯曲特性的另一因素。考虑第一稳定器60,在BHA 22的钻头50处的偏转是 L_1 的非线性函数,使得 L_1 相对较小的改变可以显著地改变BHA 22的弯曲特性。用径向可移动的稳定器叶片,角度,例如A或B的下降或上升角度可以在钻头50处将钻头50随稳定器引导到位置P。通过从P到P'轴向移动稳定器60,钻头50处的偏转可以到从A增加到A'或从B增加到B'。根据本公开的概念的方案,具有轴向和径向调节的稳定器可以大致在定向调整的范围上延伸,由此节省了将BHA 22改变为不同配置所需要的时间。在一些实施例中,稳定器可以是轴向可移动的。第二稳定器62的位置和调节增加了调节BHA 22的额外的灵活性以获得BHA 22的所需的弯曲来获得所需的钻孔曲率和方向。这样,第二稳定器62可以具有与第一稳定器60相同的功能。虽然示出了两个维度,但是稳定器叶片的适当的调节还可以提供BHA 22的三维转动。

[0028] 如本文所使用的,“轨迹”一般指井眼的路径。如该术语在本文中所使用的,“位置”一般指沿井眼的路径的位置,例如可以指一些竖直和/或水平数据(通常为井口位置和标高参考值),或使用惯性测量技术获得的位置。如本文所使用的,术语“方位角”一般指在测量位置处相对于球形坐标系中的参考方向(诸如北)的定向角朝向(或“角测量值”)。此外,对本公开而言,术语“倾斜”可以视为井眼与竖直(通常参照重力方向)的角度偏离。如本文所使用的,“测量深度”一般指从参考位置到沿井眼的路径的位置所测量的距离。通过非限制

性示例的方式,测量深度可以包括钻井器的深度,并且其还可以包括深度校正算法,其为钻柱沿其长度的弹性伸展和压缩。

[0029] 现在参照图3的流程图,根据本发明的方案的用于确定井眼的轨迹的改进的方法一般性地表示为100。在一些具体的实施例中,图3的流程图可以视为是在两个观测点之间动态建立所预测的复杂钻孔的井眼路径的代表性方法或算法。图3可以附加地(或替代地)表示对应于至少一些指令的算法,所述指令可以例如存储在存储设备中并且由控制器或处理器执行以实施与所公开的概念相关的任何或者全部上述或下述动作。存储设备可以包括计算机程序产品,其带有具有由其承载的指令集合的非暂存性计算机可读介质,所述指令集合配置为在由一个或多个控制器的执行时引起图3中所呈现的任何或者全部动作。

[0030] 一般而言,方法100由在第一或“初始”观测站处创建复杂的钻孔几何形状(在本文中也称为“所预测的井眼轨迹”)的理论模型开始。例如,在方框101处,图3的方法100包括接收指示至少两个观测点(本文也称为“观测站”)之间的一个或多个钻井参数的数据。在一些实施例中,诸如图1和图2的传感器48、70、72等地表传感器和井下传感器的组合用于测量和/或记录两个观测站之间的各种钻井参数。可以从数个或者一“组”对齐的观测点中选择每个观测站,例如,沿钻孔轨迹彼此大致等距。可以通过采取用于在井眼中的单个位置处估计位置和/或井眼取向的测量值来产生观测站。在一些非限制性实施例中,这些钻井参数可以单独地和以任何合逻辑的组合而包括:测量深度、钻柱旋转速度、钻压、井下转矩,地表转矩、流进流量(flow in)、地表压力、钻柱内的井下压力、流体密度、井下连续倾角测量值、钻头取向(工具面)、钻头偏转、井眼尺寸、估计钻头磨损等。虽然一些参数在本领域中为已知的,但是下面为更加清楚和易于理解而讨论一些参数;然而,应理解的是,下面的说明决不是限制性的,因为本公开的方案不限于下面这些参数也不限于其对应说明。

[0031] “流进流量”包括测量到的流体流到钻孔中的流量,其可以改变钻井作业的效率。例如,井下工具可能由于流进流量的改变而改变其性能。而且,可以通过改变流进流量来改变钻孔条件。与钻孔路径的改变相关联的流量的改变可以使得能够建立由模型描述的更准确的钻孔路径。这可以包括确定正确的至少部分由测量到的流进流量值约束的模型参数的迭代过程。

[0032] “钻压”(Weight-on-bit,WOB)包括施加在钻头上的向下的力的大小并且通常以千磅计量,WOB也可以改变钻井作业的效率。井下工具可能由于WOB的改变而改变其定向性能。与流进流量类似,与钻孔路径改变相关联的WOB的改变使得能够建立由模型描述的更准确的钻孔路径。这也可以包括确定正确的至少部分由测量到的WOB值约束的模型参数的迭代过程。

[0033] 工具面设置(tool face setting,TF)包括描述弯曲所面对的方向以及弯曲的程度(“可变弯曲”)的井下工具的方向设定。因此,TF直接关系到钻孔路径并且于是将在TF的方向上改变井眼路径。

[0034] 井下(离散)倾角和方位角测量值是井下工具的设置,其描述井眼的倾角和方位角。与TF类似,井下倾角测量值是钻孔路径的测量值并且因此对钻孔路径有很大影响。

[0035] 井下转矩包括在钻柱的靠近钻头的远端处的转矩,其可以改变钻井作业的效率。与其类似地,地表转矩包括在钻柱的邻近旋转台14的井上端处的转矩,其也改变钻井作业的效率。与流进流量和WOB的改变类似地,井下工具可以由于井下转矩和/或井上转矩的改

变而改变其定向性能。与钻孔路径的改变相关联的转矩的改变使得能够建立由模型描述的更准确的钻孔路径。这可以包括,例如确定至少部分由测量到的井下转矩值和/或测量到的井上转矩值约束的正确的模型参数的迭代过程。

[0036] 因为井下工具可以由于井下压力的变化而改变其定向性能,所以钻柱的井下压力也可以改变钻井作业的效率。在一些实施例中,在钻井工具处测量井下压力,例如在泥浆马达、钻头处测量或在其两处均测量。“泥浆”的流体密度是可以通过潜在地改变井下工具的定向性能而改变钻井作业的效率的另一钻井参数。可以通过与钻孔路径改变相关联的井下压力和/或流体密度的改变描述的更准确的钻孔路径。这可以包括,例如确定至少部分由测量到的井下压力值约束的正确的模型参数的迭代过程。井眼尺寸和直接关系到井眼尺寸的估计钻头磨损也可以影响定向工具性能,尤其影响BHA的凹陷(或者弯曲)量的测量值。

[0037] 继续参照图3的方法100,方框101还包括相对于两个观测点之间的预定增量来平均化接收到的数据。所述数据可以包括钻井参数的基于时间的测量值,其相对于预定深度增量而取值。在一些实施例中,每个预定增量被设定为用户定义的深度增量。为此,则可以相对于用户定义的深度增量平均所述数据,用户定义的深度增量可以例如经由输入设备44键入或选择,并且通常包括预定的可选项,诸如30m、15m以及10m(大约),但可以减少到用于高度弯折间隔的小至1m的深度。当然可以设想出其他深度增量而不偏离本公开的预期精神和范围。通过说明而非限制的方式,可以在逐秒基础上相对于两个观测站之间的较小的深度增量(例如每六英寸或每英尺或每米)来测量和记录与钻井参数相关的信息。对应时间和深度间隔可以取决于钻柱20钻井有多快,例如以60英尺每小时(fp·hr)的速度,为六英寸深度增量取30秒的数据,随后平均化所述数据。相比之下,如果钻柱20以10fp·hr的速度钻井,则时间间隔可以更大和/或深度间隔可以更小,这将导致大得多的数据集合,随后平均化所述数据。在一些实施例中,钻柱钻井越快,数据集合越小;相反,钻柱钻井越慢,数据集合越大。有利的是,还可以取最大可用数据密度;然而,这可能会受到限制,例如,由于实际的限制,诸如存储器的限制。此外,在平均化之前可以对数据集合滤值。例如,在一些应用中,仅偏差落在一西格玛(或二西格玛、三西格玛等)内的数据点被包括在数据集合中。方框101的最终结果可以包括相对于用户定义的深度增量识别每个钻井参数的可测量值。

[0038] 在图2的方框103处,根据方框101处累加的平均钻井参数数据为预定增量中的每个计算预测的钻柱响应。可以针对每个单独的钻井参数计算预测的钻柱响应。在一些实施例中,预测的钻柱响应包括预测的BHA响应和预测的钻头响应。本公开的方案包括使用合适的方法来为测量到的参数计算钻井系统和钻头响应以确定倾角和方位角相对于每个增量的改变,所述方法诸如Sperry(斯佩里)钻井MaxBHA™钻井优化软件、由Design™软件提供的钻头与服务指导、或者Landmark(兰德马克)Wellplan™BHA软件,所有这些都从哈里伯顿能源服务公司获得。由D.C.Chen和M.Wu的“State-of-the-Art BHA Program Produces Unprecedented Results(现有技术BHA程序产生前所未有的结果)”IPTC 11945(2008)提供关于可以用于计算钻柱响应的MaxBHA™建模软件的附加信息,其全文通过引用合并于此。通过预测的钻柱响应,可以针对每个用户定义深度增量计算轨迹的倾角和方位角的改变。

[0039] MaxBHA™提供二维静态模型。一般而言,不直接计算BHA的3维响应。相反,MaxBHA™通常仅在竖直平面对BHA的响应建模。通过其结果,可以推断出BHA在三个维度上的响应。MaxBHA™考虑直钻孔或恒定曲线的BHA部件,并且包含预测旋转可操纵工具的响应的模型。

相比较而言,Wellplan™BHA DrillAhead软件具有两个部件:第一,用于解决密闭BHA的结构问题的非线性3D有限元分析 (FEA) 技术;以及第二,用于判定组件的钻井趋势的分析方法和规则的组合。该途径一般可以认为是用于解决复杂钻孔中的BHA响应的更好的系统。然而,目前Wellplan™BHA软件不包含用于示例中所使用旋转可操纵工具的模型并且在FEA模型上具有距离限制。

[0040] 倾角和方位角的改变用于产生预测的井眼轨迹,如在方框105中所示。在一些实施例中,起始观测值是测量到的深度、倾角和方位角的静止观测值(例如,在单个点处取值)。例如,可以将倾角和方位角中的增量改变的总和叠加到起始观测值以建立第一观测站处的预测井眼轨迹。在迭代方法中,可以随后系统地或随意地通过附加倾角、方位角、测量深度以及其任何合逻辑组合的改变来更新所述预测井眼轨迹。

[0041] 在这个阶段,图3的方法100确定预测的井眼轨迹是否令人满意。例如,在方框107处,将预测的井眼轨迹与测量到的井眼轨迹比较,在一些实施例中,是在第二观测站处确定所述测量到的井眼轨迹。根据本公开的方案,此比较是用以确定预测的井眼轨迹与测量到的井眼轨迹之间的差异是否在预定误差带内。预定误差带取决于,例如用来确定什么是“在数学上可接受”的数学误差模型的类型。在非限制性示例中,可以采用的一个可接受的误差模型公开在H.S.Williamsom的“Accuracy Prediction for Directional Measurement While Drilling (用于定向随钻测量的精度预测)”SPE Drill&Completion (钻井及完井) 第4期第15卷(2000年12月)中,其全文通过引用合并于此。如果比较结果有利(即,方框107=是),则针对每个预定增量而根据倾角和方位角的改变来确定或者识别可能的钻孔位置,如方框109所示。目前的做法是建立单一的曲线以对两个观测点之间的钻孔轨迹建模。与此相反,在一些实施例中,预测的钻孔轨迹是较短距离上的离散变化的总和,因此包括一系列曲线。通过非限制性示例的方式,如果典型的观测距离为19英尺并且每六英寸取测量值,则建立180个小曲线以产生井眼位置。换言之,本公开的方法包括在两个观测站之间建立井眼几何形状的复杂模型而非简单的单一曲线模型。

[0042] 如果在方框105中识别的预测值显著有别于在第二观测站处的测量值,则如在方框107处所确定的,可以应用校正因子并且重新计算预测值。例如,在方框111中,如果比较结果不利(即,方框107=否),则可以将统计偏差应用到校正因子。同时通过施加带有统计偏差的校正因子来重新计算预测的钻柱响应。在某些情况下,例如,在转向以增加倾角时底部钻具组合周围的软质岩层将比基础模型估计更缓慢地增加倾角(并且将在相反的设置上倾角更快地缓和)。可以确定统计偏差(例如,使用概率算法)并且可以将统计偏差用于产生校正因子以抵消这种情形。可选地,可以将校正应用到观测仪器与钻头之间的井部分以更好地预测钻头处的井眼位置。在一些实施例中,重复上述步骤,即重复在方框103、105、107和111中阐述的步骤,直到预测的倾角和方位角与测量值的偏移在可接受的误差范围内。

[0043] 接着,参照图4,示出曲线图200,其示出在不同测量深度处的示例性旋转可操作组件的预测建造速度和使用示例性近钻头倾角传感器计算出的建造速度。可以使用MaxBHA™钻井优化软件来确定建造速度的示例性预测值,如201所示。203示出,使用来自旋转工具中的传感器的信息产生计算出的建造速度。认识到孔的直径影响BHA响应,线205表示参考孔直径(在图4中为8.5英寸),并且线207表示由井下传感器测量到的孔直径。线209示出由主观测仪器测量到的倾角。从图4可以看出,201处所示的预测的建造速度与203处所示的计算

出的(测量到的)建造速度相似。然而,计算出的建造速度203中的建造速度的变化显著地大于预测(测量到的)的建造速度201的变化,如图4所示。因此,采用预测(测量到的)的建造速度201的优点是较不易受到例如在钻井中产生的振动所造成的干扰。当试图准确地测量轨迹的改变时,钻井振动影响传感器的实际位置(由于振动而移动),其反过来影响测量的准确度。

[0044] 本公开的进一步的实施例包括在第一和第二观测站均计算钻孔内的定向观测工具的偏差。在钻取钻孔的过程中,可以沿钻孔深度测量钻孔的方位角和倾角以便确定钻孔轨迹和将钻孔定向引导至地表下的目标。观测工具可以位于BHA的钻铤内,观测工具测量局部重力场和磁场的方向和幅值。土地磁场和重力场的测量可以用于估计特定点处或测量点处的钻孔的倾角和方位角。每次中断钻井作业以将新的一段或多段钻杆增加到钻柱时,可以进行静态观测。方位角和倾角数据可以使用常规的测量仪器来获得,并且使用已知的遥测方法发送到地表。

[0045] 可以通过如上述处理(例如,图3)在复杂的钻孔内对BHA姿态建模来计算偏差。例如,一旦产生复杂钻孔的3-D数学模型,则所述方法可以进一步包括确定钻柱组件如何配合该复杂的井眼,接触点在哪儿,以及观测仪器与井眼之间的偏差是多少。观测偏差称为“凹陷”。一般而言,长的管状钻柱组件可能由于重力而变形。如果观测仪器在钻柱组件的“凹陷”段内,则观测仪器由于管形的凹陷而相对于井眼偏差。因此,考虑此偏差并且将其用于校正实际的观测。在一些实施例中,可以用GPS导航系统测量到的井眼轨迹来计算此校正。

[0046] 从以往来看,钻孔形状中的工具的凹陷校正的计算是基于最小曲率模型。然而,在本实施例中,建模可以考虑在最小曲率模型中未考虑的各种因素,包括下列中的一个或多个:复杂的几何形状和底部钻具组合的刚度;如图3实施例中的预测倾角和方位角所描述的钻孔复杂几何形状;以及钻孔尺寸(例如直径)和形状(例如,由井径测井(caliper log)所描述的)

[0047] 可选地,然后可以基于新的经过凹陷校正的观测站在第一和第二观测站之间重新计算预测的倾角和方位角。作为另一种可选方案,实施例可以包括计算钻孔内的定向观测工具的偏差同时使用随钻取值的连续观测测量值来描述钻孔几何形状。另一种可选方案包括使用上述用于计算钻孔内的定向观测工具的偏差的方法来校正随钻取值的连续的倾角和方位角测量值。

[0048] 本公开的方案还可以用作历史地考察之前所钻取的无连续观测数据的井,并且以增大的准确度来重新计算井眼位置。这对于在将水平井定位于正确目标的过程中TVD不确定性已经成为问题的领域可以潜在地具有重要的商业应用。校正附近的偏斜井可以减少定位新井的不确定性并且可以潜在地改善油储层体积计算。

[0049] 在一些实施例中,可以通过诸如程序模块等指令的计算机可执行程序(通常称为由计算机执行的软件应用或应用程序)来实现本公开的各种方案。在非限制性示例中,软件可以包括实施特定任务或实现特定抽象数据类型的例程、程序、对象、组件和数据结构。软件形成允许计算机根据输入源作出反应的接口。软件还可以与其他代码段协作以响应于与所接收的数据的源一同接收的数据而发起各种任务。软件可以存储在任何各种存储介质上,诸如CD-ROM、磁盘、磁泡存储器和半导体存储器(例如,各种类型的RAM或ROM)。此外,软件及其结果可以经各种载体介质传送,包括电线、光纤、WiFi、互联网、自由空间及其组合。

[0050] 此外,本公开的许多方案可以用包括手持式设备、多处理器系统、基于微处理器的电子产品或可编程的消费者电子产品、小型计算机、大型计算机等各种计算机系统和计算机网络配置来实施。此外,本公开的方案可以实施在分布式计算环境中,其中任务由通过通信网络链接的远程处理设备来实施。在分布式计算环境中,在包括存储器存储设备的本地和远程计算机存储介质中均可以放置程序模块。因此,本公开的方案可以在计算机系统或其他处理系统中与各种硬件、软件或其组合相关联来实现。

[0051] 尽管已经示出和描述了本公开的特定实施例和应用,但是应当理解的是,本公开并不局限于本文所公开的具体的构造和组成,并且通过上述描述,各种修改、改变和变型可以是显而易见的,而不脱离所附权利要求限定的本发明的精神和范围。

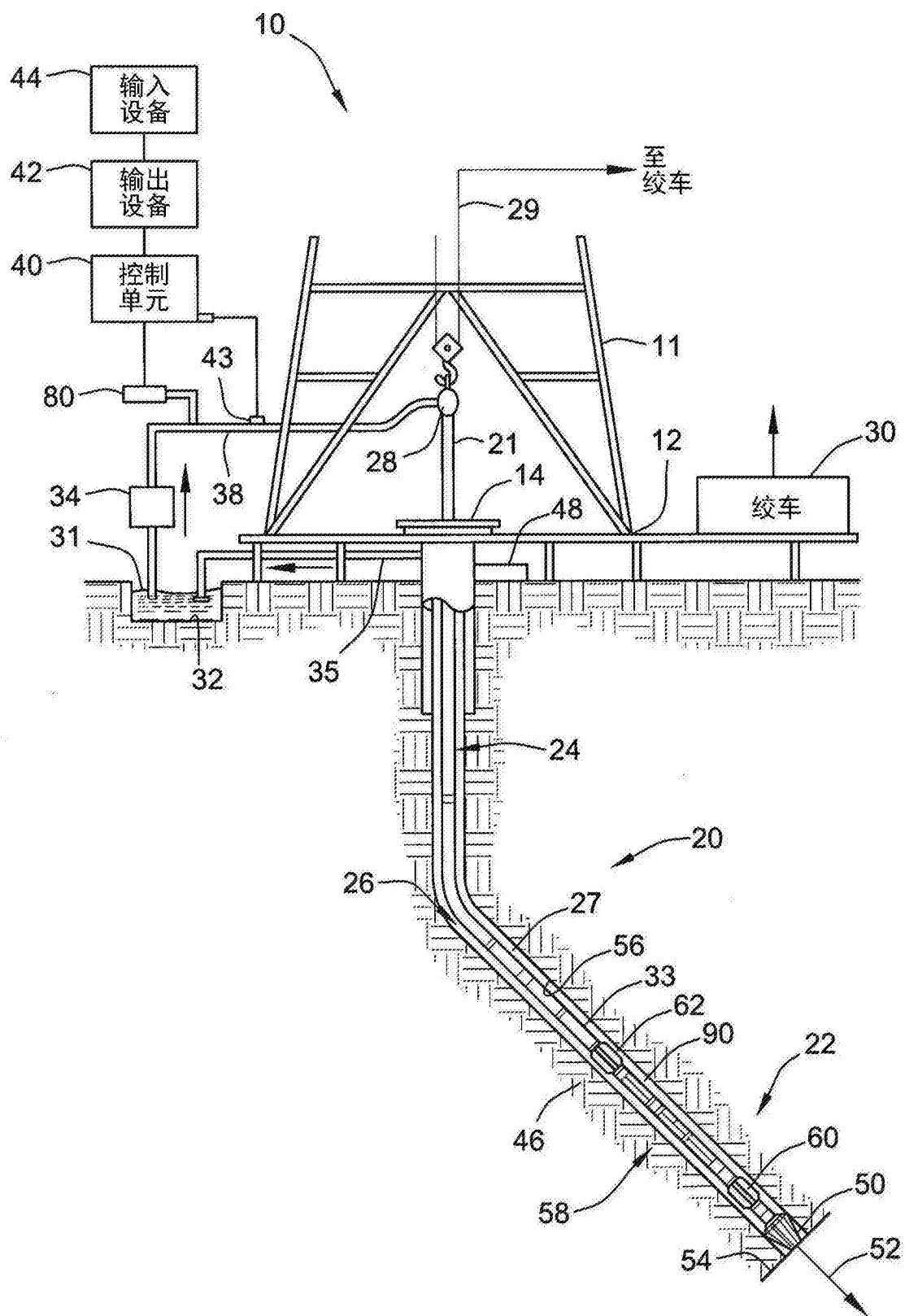


图1

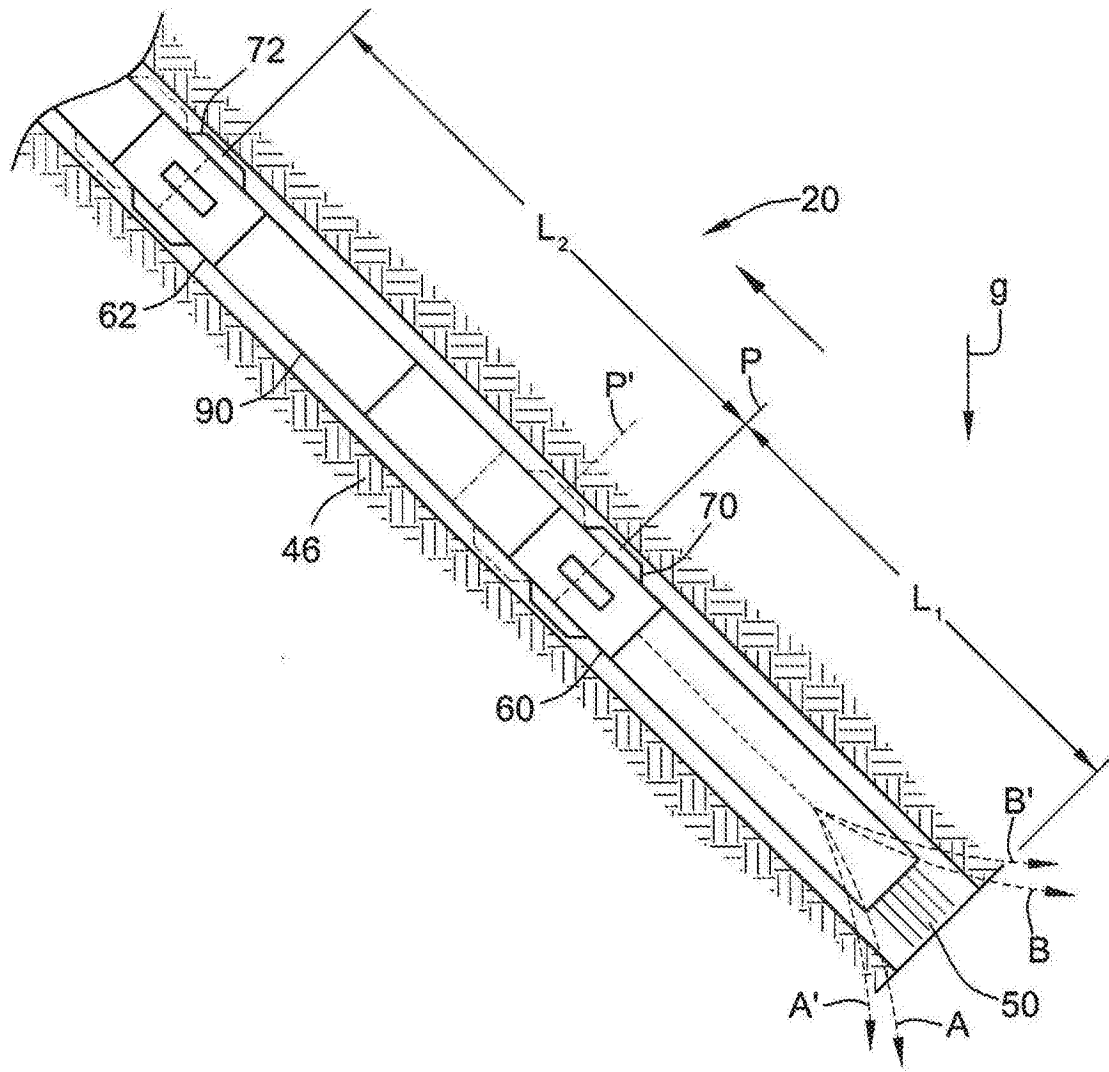


图2

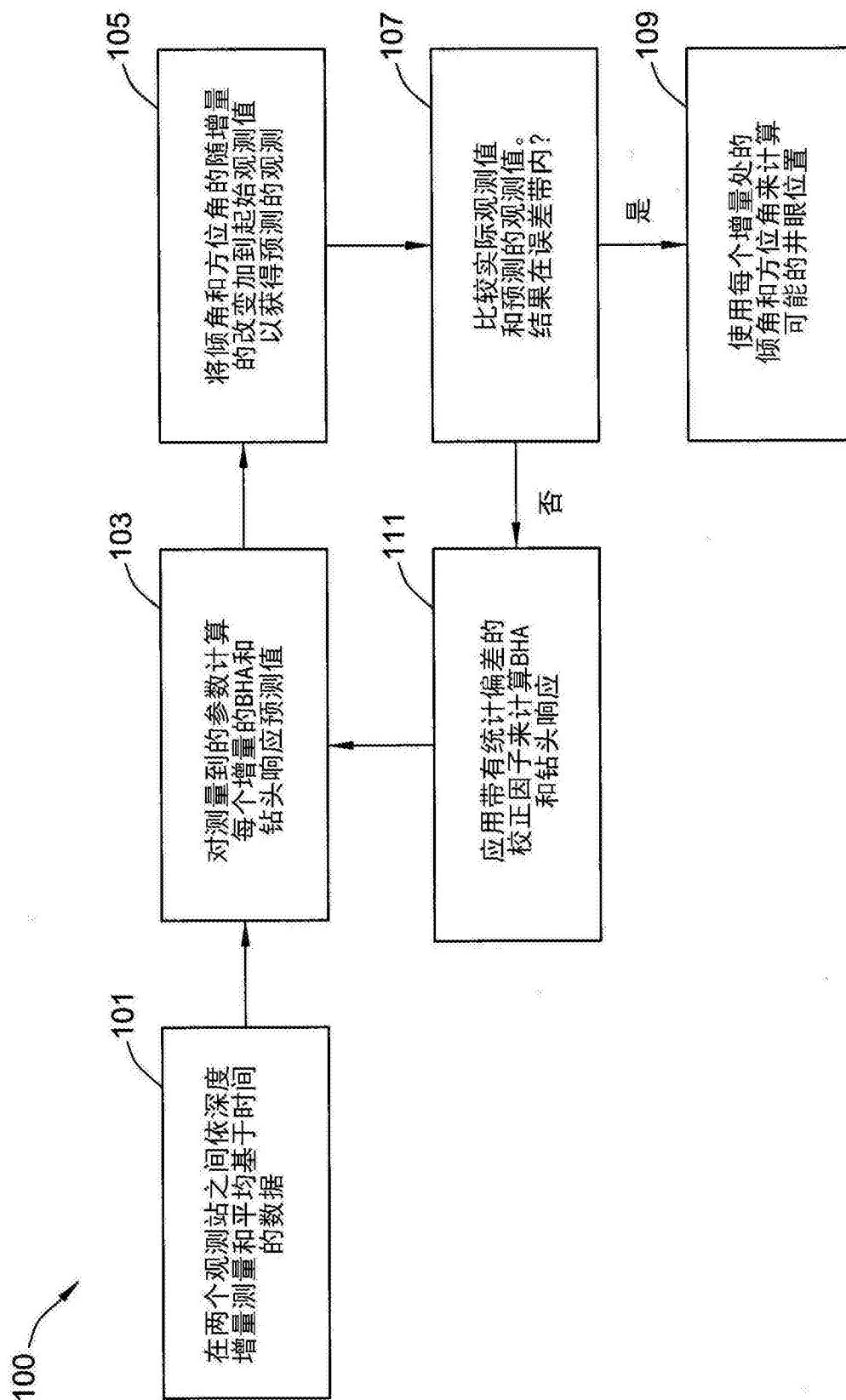


图3

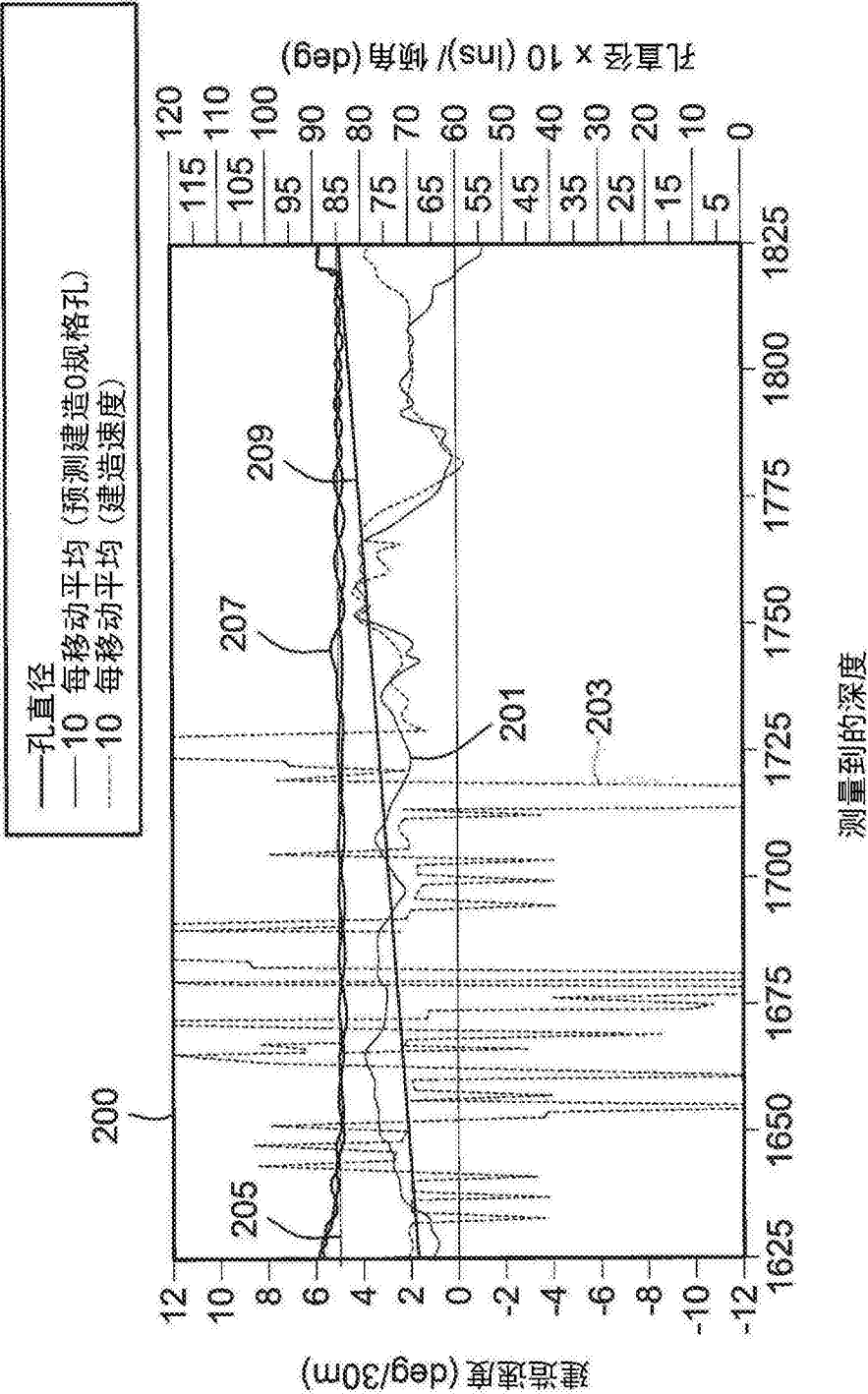


图4