



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105658908 A

(43) 申请公布日 2016. 06. 08

(21) 申请号 201380078398. 4  
(22) 申请日 2013. 08. 30  
(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2016. 01. 21  
(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2013/057498 2013. 08. 30

(51) Int. Cl.  
E21B 44/00(2006. 01)  
E21B 49/00(2006. 01)  
E21B 45/00(2006. 01)  
E21B 7/00(2006. 01)

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02015/030790 EN 2015. 03. 05  
(71) 申请人 哈里伯顿能源服务公司  
地址 美国得克萨斯州  
(72) 发明人 R·塞缪尔  
(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公  
司 31100  
代理人 姬利永

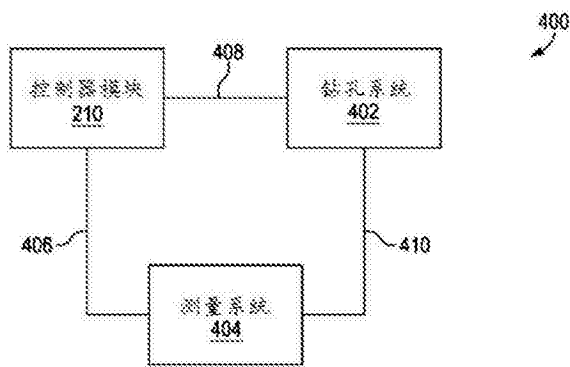
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

使用井筒剖面能量和形状将井下钻孔自动化

(57) 摘要

本文公开了用于基于正被钻孔的井筒的剖面  
和能量将井下钻孔自动化的系统和方法。一种方  
法包括在地下地层内推进井底组件 (BHA) 并由  
此形成沿实际井筒路径的井筒, 所述 BHA 包括控  
制器模块、一个或多个传感器和操纵组件; 利用  
沿所述实际井筒路径的两个或更多个勘测站处  
的所述传感器记录勘测测量值; 将所述勘测测  
量值与对应于规划井筒路径的数据进行比较; 当  
所述实际井筒路径已经偏离所述规划井筒路径  
时基于所述实际井筒路径的最低能量确定返回  
路径; 以及传送纠正性命令信号至所述操纵组  
件, 以便重新定向所述实际井筒路径的轨道, 以  
使得其返回至所述规划井筒路径。



1. 一种方法,其包括:

在地下地层内推进井底组件(BHA)并由此形成沿实际井筒路径的井筒,所述BHA包括控制器模块、一个或多个传感器和操纵组件;

利用沿所述实际井筒路径的两个或更多个勘测站处的所述一个或多个传感器记录勘测测量值;

利用所述控制器模块将所述勘测测量值与对应于规划井筒路径的数据进行比较;

当所述实际井筒路径已经偏离所述规划井筒路径时,利用所述控制器模块基于所述实际井筒路径的最低能量确定返回路径;以及

利用所述控制器模块传送纠正性命令信号至所述操纵组件,以便重新定向所述实际井筒路径的轨道,以使得其返回至所述规划井筒路径。

2. 如权利要求1所述的方法,其还包括将所述勘测测量值的所述记录自动化;确定所述返回路径;以及重新定向所述实际井筒路径,以使得所述BHA自动返回至所述规划井筒路径。

3. 如权利要求1所述的方法,其中利用所述控制器模块确定所述返回路径包括将返回至所述规划井筒路径的所述实际井筒路径的曲率和扭力最小化。

4. 如权利要求1所述的方法,其还包括利用所述操纵组件响应于所述纠正性命令信号调整一个或多个钻孔参数。

5. 如权利要求1所述的方法,其中利用所述一个或多个传感器记录所述勘测测量值包括:

测量所述实际井筒路径的实时条件,以及

实时传送所述勘测测量值至所述控制器模块。

6. 如权利要求5所述的方法,其还包括通过自动地实时传送所述纠正性命令信号至所述操纵组件来将所述实际井筒路径维持成沿所述规划井筒路径。

7. 如权利要求1所述的方法,其还包括利用所述控制器模块确定所述实际井筒路径的形状。

8. 如权利要求7所述的方法,其还包括至少部分基于所述实际井筒路径的所述形状生成所述纠正性命令信号。

9. 如权利要求1所述的方法,其还包括利用所述控制器模块计算所述实际井筒路径的旋转指数。

10. 一种用于对井筒进行钻孔的系统,其包括:

测量系统,所述测量系统被配置以便获得沿实际井筒路径的两个或更多个勘测站处的勘测测量值;

控制器模块,其可通信地联接至所述测量系统且被配置以便将所述勘测测量值与对应于规划井筒路径的数据进行比较,且当所述实际井筒路径已经偏离所述规划井筒路径时基于所述实际井筒路径的最低能量确定返回路径;以及

钻孔系统,其可通信地联接至所述控制器模块,所述钻孔系统被配置以便从所述控制器模块接收一个或多个纠正性命令信号并重新定向所述实际井筒路径的轨道,以使得其返回至所述规划井筒路径。

11. 如权利要求10所述的系统,其中所述测量系统包括随钻测量工具和随钻测井工具中的至少一个。

12. 如权利要求11所述的系统,其中所述随钻测量工具被配置以便测量和获得关于井底组件的方向信息,所述方向信息包括所述井底组件的倾斜角度和方位角度。

13. 如权利要求10所述的系统,其中所述钻孔系统包括旋转可操纵式工具和可操作地联接至所述工具的至少一个钻头。

14. 如权利要求13所述的系统,其中所述旋转可操纵式工具从所述控制器模块接收所述一个或多个纠正性命令信号并调整一个或多个钻孔参数,以便重新定向至少一个钻头的所述轨道,以使得所述实际井筒路径返回至所述规划井筒路径。

15. 如权利要求14所述的系统,其中所述一个或多个钻孔参数为钻压、通过钻柱的钻孔流体流、所述钻柱的旋转速度、所述钻孔流体的密度和粘度、井底组件的方位和倾斜度中的至少一个。

16. 如权利要求10所述的系统,其中所述控制器模块包括处理单元,所述处理单元被配置以便将返回至所述规划井筒的所述实际井筒路径的曲率和扭力最小化。

17. 一种非暂时性计算机可读介质,所述非暂时性计算机可读介质包括存储在其上的计算机可读指令,当所述计算机可读指令被处理器执行时将所述处理器配置用于执行功能,所述功能包括:

利用布置在沿正由井底组件(BHA)进行钻孔的井筒的两个或更多个勘测站处的所述BHA中的一个或多个传感器记录勘测测量值,所述BHA被推进至地下地层中并由此形成实际井筒路径;

利用布置在所述BHA中的控制器模块将所述勘测测量值与对应于规划井筒路径的数据进行比较;

当所述实际井筒路径偏离所述规划井筒路径时利用所述控制器模块基于所述实际井筒路径的最低能量确定返回路径;以及

利用所述控制器模块传送纠正性命令信号至所述BHA的操纵组件,以便重新定向所述实际井筒路径的轨道,以使得其返回至所述规划井筒路径。

18. 如权利要求17所述的非暂时性计算机可读介质,其中利用所述控制器模块确定所述返回路径包括将返回至所述规划井筒路径的所述实际井筒路径的曲率和扭力最小化。

19. 如权利要求17所述的非暂时性计算机可读介质,其还包括利用所述操纵组件响应于所述纠正性命令信号调整一个或多个钻孔参数。

20. 如权利要求17所述的非暂时性计算机可读介质,其还包括:

利用所述控制器模块确定所述实际井筒路径的形状;以及

基于所述实际井筒路径的所述形状生成所述纠正性命令信号。

21. 如权利要求17所述的非暂时性计算机可读介质,其还包括利用所述控制器模块计算所述实际井筒路径的旋转指数。

## 使用井筒剖面能量和形状将井下钻孔自动化

[0001] 背景

[0002] 本公开涉及井下钻孔,且更具体地说,涉及基于正被钻孔的井筒的剖面 and 能量将井下钻孔自动化。

[0003] 井筒或井孔的品质大体上与井筒的“平滑度”有关。已经提出用于对井筒进行钻孔的各种轨道模型,所述模型具有不同程度的最终井筒平滑度。最简单的模型,也就是切向模型,由直线段组成。因此,该模型的坡度在沿井筒长度的勘测点处是不连续的。另一常见模型为最小曲率模型,其由圆弧组成。该模型具有连续的坡度但不连续的曲率。到目前为止,用于轨道建模和钻柱分析的最常见方法为“转矩-拖拽”模型,该模型计算下钻操作和起钻操作期间的额外载荷,在所述操作期间转矩由于钻柱的旋转而产生,且拖拽为较之旋转的钻柱压力的多余载荷,该多余载荷由于钻柱与井筒接触生成的摩擦力而产生。

[0004] 井筒的平滑度可具有多种表现形式,所述多种表现形式均不利地影响钻孔过程的效率且增加了钻孔和完井成本。目前,诸如井筒弯曲度、曲率、扭力和各种钻孔指标的不同参数被用于量化井筒路径或估计钻出平滑井筒的难度。另外,不存在用于定义井筒品质的明确标准。举例来说,纳入考虑的钻孔指标一般更为主观地描述井孔品质,而不是定性地量化井孔。在一些情况下,钻孔指标仅被用作钻井难易程度的衡量标准,而不是用作钻孔平滑程度的衡量标准。

[0005] 今天,自动化计算机控制式钻孔操作(也就是,“钻孔自动化”)正在成为现实,因为其承诺节约钻机运转时间,并且通过自动地实施井筒轨道模型为钻井操作人员提供经济效益。当实际井筒轨道偏离规划井筒路径时,系统必须采取纠正措施。例如,现在钻井中使用的比例-积分-微分(PID)控制可向旋转的操纵钻具提供负反馈,以便将偏离的钻孔路径带回至规划轨迹。然而,PID控制中经常出现冲和波动。

[0006] 附图简述

[0007] 以下附图被涵盖以便说明本公开的某些方面,且不应被视为排他性实施方案。在不脱离本公开的范围的情况下,所公开的主题的形式和功能可容许重大修改、变化、组合和等效形式。

[0008] 图1说明可能采用本公开的一个或多个原理的示例性钻孔系统。

[0009] 图2说明根据本公开的一个或多个实施方案的示例性井底组件。

[0010] 图3绘示根据一个或多个实施方案的示例性井筒路径,该井筒路径可通过实施本公开的原理形成。

[0011] 图4说明根据一个或多个实施方案的系统的简化示意图,该系统被配置以便执行本文所描述的方法。

[0012] 图5为根据一个或多个实施方案的控制器模块的简化示意图。

[0013] 图6为根据一个或多个实施方案的将钻孔操作自动化的方法的示意性流程图。

[0014] 详细描述

[0015] 本公开涉及井下钻孔,且更具体地说,涉及基于正被钻孔的井筒的剖面 and 能量将井下钻孔自动化。

[0016] 本文公开基于钻井剖面能量将钻孔操作自动化以便钻出更为平滑的井筒的系统和方法。所公开的系统包括控制器模块,该控制器模块可通信地联接至测量系统和钻孔系统。测量系统可就较之规划井筒路径的实际井筒路径位置对控制器模块进行实时更新。当实际井筒路径已经偏离规划井筒路径时,控制器模块可被配置以便基于实际井筒路径的最低能量确定返回路径,以及传送一个或多个纠正性命令信号至操纵组件以便重新定向实际井筒路径的轨道,以使得其返回至规划井筒路径。返回路径使用基于最低井筒能量标准的轨道模型进行计算,以便将钻井轨道的过冲和波动最小化。如将了解的是,用于使实际井筒路径返回至规划井筒路径的基于能量的方法可为将井下钻孔系统自动化的可靠形式,以用于实现对钻孔设备的最佳利用。

[0017] 参考图1,说明可采用本公开的一个或多个原理的示例性钻孔系统100。可通过使用钻孔系统100钻至土层102中来创建井孔。钻孔系统100可被配置以便驱动井底组件(BHA)104,该井底组件104定位或以其它方式布置在钻柱106的底部处,该钻柱106从布置在表面110处的起重机108延伸至土层102中。起重机108包括用于降下和升起钻柱106的钻杆112。

[0018] BHA 104可包括钻头114,该钻头114可操作地联接至下井仪器串116,该下井仪器串116可在附接至钻柱106的同时在钻出的井筒118内轴向移动。在操作期间,钻头114穿透土层102,且由此创建井筒118。BHA 104随着钻头114推进到土层102中对钻头114提供方向控制。下井仪器串116可半永久式安装有各种测量工具(未图示),诸如但不限于随钻测量(MWD)和随钻测井(LWD)工具,所述工具可被配置以便记录钻孔条件的井下测量值。在其它实施方案中,测量工具可配套在下井仪器串116内,如图1中所示。

[0019] 来自泥浆筒120的流体或“泥浆”可使用泥浆泵122泵送至井下,该泥浆泵122由邻近电源(诸如原动机或马达124)供电。可从泥浆筒120将泥浆泵送通过立管126,该立管126馈送泥浆至钻柱106,并将泥浆输送至钻头114。泥浆从布置在钻头114中的一个或多个喷嘴离开,并且在过程中对钻头114进行降温。离开钻头114之后,泥浆通过界定在井筒118与钻柱106之间的环带循环回到表面110,并且在过程中将钻屑和碎片送回至表面。钻屑和泥浆混合物传递通过流线128且被处理,以使得清洁的泥浆通过立管126再次返回至井下。

[0020] 虽然相关于图1中的旋转钻孔系统示出和描述钻孔系统100,但是本领域技术人员将容易地了解:在执行本公开的实施方案的过程中,可采用许多类型的钻孔系统。举例来说,本公开的实施方案中使用的钻具和钻机可在岸上(如图1中绘示)或海上(未图示)使用。根据本公开的实施方案,可使用的海上石油钻机包括例如浮子、固定式钻井平台、基于重力的结构、钻井船、半潜式平台、自升式平台、张力腿平台等。将了解,本公开的实施方案可应用至任何钻具,包括小尺寸和便携式钻具和庞大且永久性的钻具。

[0021] 另外,虽然本文相关于石油钻井进行描述,但是本公开的各种实施方案可用在许多其它应用领域中。例如,公开的方法可用在矿产勘探、环境调查、天然气开采、地下安装、采矿作业、水井、地热井等钻井领域中。另外,在不脱离本公开的范围的情况下,本公开的实施方案可用于封隔器压力组件、送入衬管悬挂器、送入完井管柱等。

[0022] 现在参考图2,继续参考图1,说明可使用的根据本公开的一个或多个实施方案的示例性井底组件(BHA)104。如所说明,BHA 104可至少包括钻头114、可操作地联接至钻头114的操纵组件202、MWD/LWD工具204和钻环206。操纵组件202可为任何类型的井下操纵系统或设备,该操纵系统或设备被配置以便对钻头114进行定向,以便遵循规划轨道或井筒路

径。在一些实施方案中,操纵组件202可为旋转可操纵式工具。在其它实施方案中,在不脱离本公开的范围的情况下,操纵组件202可为泥浆马达或任何其它已知的设备或系统,该设备或系统可重新定向钻头114的轨道。

[0023] MWD/LWD工具204可包括MWD传感器套件,该套件可包括一个或多个勘测探针207,所述一个或多个勘测探针207被配置以便收集和发送方向信息、机械信息、地层信息等。具体地说,一个或多个勘测探针207可包括一个或多个内部或外部传感器,诸如但不限于测斜仪、一个或多个磁力计(也就是,罗盘单元)、一个或多个加速计、轴位置传感器及其组合等。BHA 104在土层102(图1)内的方向信息(也就是,三维空间中的井筒轨道),诸如倾斜度和方位,可使用勘测探针207实时获得。

[0024] MWD/LWD工具204可还包括LWD传感器套件,该套件可包括一个或多个传感器,所述一个或多个传感器被配置以便测量地层参数,诸如电阻率、孔隙度、声波传播速度或伽马射线传播率。在一些实施方案中,MWD工具和LWD工具及其相关的传感器套件可彼此通信,以便在其之间共享收集的数据。MWD/LWD工具204可为如本领域中已知的电池驱动型或发电机驱动型工具,且从MWD/LWD工具204获得的任何测量值可在表面110(图1)或井下位置处进行处理。

[0025] 钻环206可被配置以便添加压力至BHA 104,添加在钻头114上方,以使得钻头114上有足够的压力来钻通必要的地质地层。压力还可随着钻柱106从表面110延伸而通过该钻柱106应用至钻头114。

[0026] BHA 104可还包括传感器子单元208,该传感器子单元208联接至BHA 104或以其它方式构成BHA 104的一部分。传感器子单元208可被配置以便相关于BHA 104监控井下环境中的各种操作参数。举例来说,传感器子单元208可被配置以便监控钻头114的操作参数,所述操作参数诸如但不限于钻压(WOB)、钻头转矩(TOB)、钻头114的每分钟转数(RPM)、钻柱106的弯曲力矩、潜在地影响钻头114的振动等。在一些实施方案中,传感器子单元208可为可从位于美国德克萨斯州休斯顿的Sperry Drilling公司购得的 **DRILLDOC®** 工具。**DRILLDOC®** 工具或另一类似类型的传感器子单元208可被配置以便提供关于邻近切削工具(也就是,钻头114)和/或钻柱106的压力、转矩和弯曲的实时测量值,以便将从表面至切削工具和/或钻柱106的能量传递特征化。如将了解的是,这些测量值帮助优化钻孔参数,以便将性能最大化并将浪费的能量传递和振动最小化。

[0027] BHA 104可还包括控制器模块210,该控制器模块210联接至或以其它方式构成BHA 104的一部分。控制器模块210可为井下计算机系统,该井下计算机系统通过一个或多个通信线路212可通信地联接至传感器子单元208、MWD/LWD工具204(例如,其勘测探针207)和操纵组件202的每一个。控制器模块210可被配置,以便通过通信线路212实时发送数据和命令至传感器子单元208、MWD/LWD工具204和操纵组件202或从以上各者接收数据和命令。

[0028] 在一些实施方案中,控制器模块210可通过一个或多个通信线路214进一步可通信地联接至表面110(图1),以使得在操作期间能够实时发送数据至表面110(图1)或从该表面110接收数据。通信线路212、214可为本领域技术人员已知的任何类型的有线远程通信设备或装置,诸如但不限于电线或线路、光纤线路等。可选地或另外,控制器模块210可包括或另外为遥测模块,该遥测模块被用于视需要使用一个或多个井下遥测技术无线地传输测量值至表面110,所述一个或多个井下遥测技术包括但不限于泥浆脉冲遥测、声学遥测、电磁频

率遥测、以上的组合等。

[0029] 现在参考图3,继续参考图1和图2,说明根据一个或多个实施方案的示例性井筒路径300,该井筒路径300可通过实施本公开的原理形成。更具体地说,井筒路径300表示用于对井筒(例如,图1的井筒118)进行钻孔以便达到地下地层304内的目标位置302的规划或设计路径或轨道。井筒可使用上面参考图1和图2所描述的BHA 104和钻柱106进行钻孔。在示例性钻孔操作期间,控制器模块210(图2)可被配置以便连续地与操纵组件202(图2)通信,以使得钻头114被定向成遵循规划井筒路径300。

[0030] 然而,下井仪器串常常可偏离原始设计的井筒路径300,且实际上可产生实际井筒路径306,该井筒路径306与原始井筒路径300不重合或以其它方式从原始井筒路径300偏离。这种偏离可造成若干间接变量,诸如但不限于下井仪器串的钻进速度、井下仪器串在不同岩石类型和/或地层内的挠曲、工具面设置、下井仪器串的旋转(也就是,滑动或旋转,取决于钻孔马达的类型)、钻头114上的压力、通过和围绕下井仪器串的钻孔流体的流率、钻头114和BHA 104中的其它工具的磨损、钻柱106中的振动、以上的组合等。

[0031] 随着下井仪器串推进至地层304中,BHA 104可被配置以便记录沿实际井筒路径306的各种点308处的勘测测量值,以便确定下井仪器串的确切位置以及实际井筒路径306是否遵循地层304内的设计井筒路径300。可随着下井仪器串推进定期记录勘测测量值,诸如每45英尺、每75英尺、每90英尺进行记录,或按照钻井操作人员需要的任何距离或频率进行记录。这些勘测测量值可将是否需要方向变更实时告知给钻井操作人员(或诸如图2的控制器模块210的自动化系统),以便重新定向实际井筒路径306的轨道并由此将该轨道带回成与设计井筒路径300重合。

[0032] 虽然存在若干重新引导下井仪器串以使得实际井筒路径306能够返回并遵循设计井筒路径300的方法,但是本公开提供一种轨道控制模型,该模型基于最低井筒能量标准实现上述目的,以便将钻井轨道的过冲和波动最小化。被纳入考虑的过程参数包括勘测站308之间的长度、勘测站308之间的倾斜度变化率和勘测站308之间的方位变化率。可使用平衡正切法、最小曲率法和自然曲线法中的至少一个来计算这些参数。通过应用最低井筒能量条件,可获得这些参数的唯一解,由此获得对下井仪器串设备的最佳利用和更为平滑的井筒。

[0033] 可进一步证明是有利的是将这些操作自动化,以使得来自表面的钻井操作员干预大体上是不必要的。实际上,诸如控制器模块210(图2)的井下计算机系统可自动化地基于更新的勘测测量值自动地重新引导井下轨道。换句话说,根据本公开,可向控制器模块210提供下井仪器串相关于规划井筒路径300的定位位置的实时更新,且当需要时,控制器模块210可被配置以便确定展现出最低递增井筒能量的返回路径。

[0034] 为了获得至设计井筒路径300的最低能量返回,返回至设计井筒路径300的实际井筒路径306的曲率和扭力必须被最小化。用于量化井筒路径设计的复杂度的基于能量的数学标准通常使用物理推理而不是井筒路径的几何意义。薄的弹性梁的非线性曲面建模例如被称为最低能量曲线,且其特征在于当传递通过给定的一组点时最小限度地弯曲。考虑到产生平滑曲线的简单性,这被视为是极佳标准。因此,该标准可用于描述返回至设计井筒路径300的实际井筒路径306的最低能量。另一个优点在于,其可用于强调使用常见方法获得的陡井筒路径设计的井筒路径曲率波动。

[0035] 应变能( $E_s$ ),也就是井筒路径(例如,返回至设计井筒路径300的实际井筒路径306)的应变能,被表示为曲率( $\kappa$ )的平方的弧长度积分:

$$[0036] \quad E_s = \int_0^{\ell} \kappa(x)^2 dx \quad \text{等式(1)}$$

[0037] 井筒路径的曲率可表示为:

$$[0038] \quad \kappa = \left| \frac{dt}{ds} \right| = |\dot{t}| = \left| \frac{x^2 r(s)}{xs^2} \right| \quad \text{等式(2)}$$

[0039] 其中 $x$ 为勘测站或点308(图1)之间的轨迹长度距离, $s$ 为 $x$ 的弧长度,且 $r(s)$ 为弧长度 $s$ 的半径。曲率 $\kappa$ 还指示井筒路径的正切向量 $\dot{t}$ 。可选地,井筒路径的曲率还可表示为:

$$[0040] \quad \kappa = \frac{d\alpha}{ds} \quad \text{等式(3)}$$

[0041] 其中 $\alpha$ 为井筒路径的倾斜度,该倾斜度根据在BHA中的对应勘测站308(图3)处获得的至少两个实时测量值获得。使用井筒路径的曲率还可确定井筒路径的扭力,如下所示:

$$[0042] \quad \tau = \frac{\kappa_\alpha \dot{\kappa}_\phi - \kappa_\phi \dot{\kappa}_\alpha}{\kappa^2} \sin \alpha + \kappa_\phi \left( 1 + \frac{\kappa_\alpha^2}{\kappa^2} \right) \cos \alpha \quad \text{等式(4)}$$

[0043] 其中 $\phi$ 为井筒路径的方位,该方位根据在BHA中的对应勘测站308(图3)处获得的至少两个实时测量值获得。关于曲率和扭力的两个计算取决于倾斜度( $\alpha$ )、方位( $\phi$ )和轨迹长度( $d$ )(也就是,勘测站308之间的距离)。

[0044] 在将扭力( $\tau$ )参数涵盖在内作为扭力( $\tau$ )的平方的弧长度积分的情况下,最低能量等式(1)对于井筒路径设计变得更为全面,该井筒路径设计被配置以便将实际井筒路径306返回至设计井筒路径300。该等式可表示为:

$$[0045] \quad E_s = \int_0^{\ell} (\kappa(x)^2 + \tau(x)^2) dx \quad \text{等式(5)}$$

[0046] 等式(5)可被进一步归一化为勘测站或点308(图3)之间的标准井筒轨迹长度,且可表示为:

$$[0047] \quad E_{(abs)_n} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (\kappa_i^2 + \tau_i^2) \Delta x_i}{x_n + \Delta x_n} \right) \quad \text{等式(6)}$$

[0048] 因此,最低能量等式将返回路径(也就是,返回设计井筒路径300的实际井筒路径306)的曲率、扭力和应变能的差变转变为计算值。这些计算值可使用诸如图2的控制器模块210的计算机系统确定。

[0049] 现在参考图4,继续参考图1至图3,说明根据一个或多个实施方案的系统400的简化示意图,该系统400可被配置以便执行本文所描述的方法。如所说明,系统400可包括如上面参考图2大体描述的控制模块210,该控制模块210可通信地联接至钻孔系统402和测量系统404。测量系统404可包括例如图2的MWD/LWD工具204和传感器子单元208,以便收集



和传输方向信息、机械信息、地层信息等。BHA 104(图2)的更新的方向信息(诸如轨迹长度、倾斜度和方位)可呈一个或多个测量信号406的形式实时获得和传输至控制器模块202。

[0050] 控制器模块202可包括处理单元,该处理单元可被配置以便接收和处理测量信号406。在一些实施方案中,处理单元可为比例-积分-微分(PID)控制器模块或系统。处理单元可被进一步配置,以便将测量信号406与对应于规划井筒路径300(图3)的存储路径数据进行比较。如果在控制器模块202中处理的测量信号406指示实际井筒路径306(图3)已经偏离规划井筒路径300,那么控制器模块202可被配置以便采用上面所描述的最低能量等式并计算实际井筒路径306的返回路径,该返回路径产生最低递增井筒能量。

[0051] 使用根据最低能量等式得出的结果,控制器模块202可被配置以便生成和发送一个或多个纠正性命令信号408至钻孔系统402,以便重新定向实际井筒路径306的轨道,以使得其重返规划井筒路径300。钻孔系统402可包括例如操纵组件202(图2)和钻头114(图2)。在接收纠正性命令信号408后,操纵组件202可调整一个或多个钻孔参数,以便将钻头114重新引导朝向规划井筒路径300。示例性钻孔参数包括但不限于钻压、通过钻柱106(图2)的钻孔流体流、钻柱106旋转速度、钻孔流体的密度和粘度、BHA 104的方位和倾斜度、工具面方向、弯曲角度、以上的组合等。

[0052] 随着钻孔在地下地层304(图3)内进展和推进,测量系统404可被配置以便继续记录或以其它方式获得对应于钻孔操作的实时条件的勘测测量值410。在一些实施方案中,勘测测量值410可在勘测点308(图3)处进行记录,但是在不脱离本公开的范围的情况下,可在钻孔操作期间的任何时间点同样地进行记录。因此,随着钻孔操作进展,控制器模块202继续被更新对应于BHA 104(图2)的方向信息(也就是,实时倾斜角度和方位角度)的实时测量数据406,并且然后可发送纠正性命令信号408,所述信号被配置以便将实际井筒路径306维持成与规划井筒路径300一致。此外,因为最低能量等式被用于生成纠正性命令信号408,所以产生降低整体拖拽和摩擦的更为平滑的井筒剖面。

[0053] 基于在控制器模块210中执行的计算,可估计井筒路径能量及其形状。例如,测量系统404自动地在两个勘测站(例如,图3的站308)之间进行感测,由此允许控制器模块210对井筒路径进行归类,以使得井下自动化可通过钻孔系统402进行自动调整。当满足特定数学条件时,控制器模块210可确定或以其它方式推断井筒路径的形状,并由此生成被设计用于纠正井筒轨道的纠正性命令信号408。

[0054] 举例来说,当未感测出或以其它方式确定两个勘测点之间的曲率( $\kappa$ )时,钻井路径可处于被称为“保持”模式的状态。控制器模块210可将当前井筒路径归类为基本上笔直,并确认这两个勘测点之间消耗最低能量。对于处于二维(2D)平面中的井筒路径,当在BHA 104中感测出的扭力( $\tau$ )大致上等于零时,那么如果井筒路径为平面曲线则满足指示井筒路径为2D路径的数学条件。换句话说,能量仅由这些井筒路径中的曲率( $\kappa$ )促成,且井筒路径可被归类为平面曲线。类似地,当井筒路径的曲率( $\kappa$ )恒定但大于或小于零(例如,增大或减小),且扭力( $\tau$ )大致上等于零时,那么如果井筒路径为圆形的一部分则满足指示井筒路径为2D路径的条件。换句话说,能量仅由曲率( $\kappa$ )促成,但是可另外保持恒定。

[0055] 对于处于三维(3D)空间中的井筒路径,当曲率( $\kappa$ )恒定但大于零,且扭力( $\tau$ )恒定但大于零时,如果井筒路径为圆柱螺旋线的一部分或 $\tau/\kappa$ 恒定,则满足指示井筒路径为3D路径的数学条件。在这些情况下,能量由曲率( $\kappa$ )和扭力( $\tau$ )促成,但是保持恒定。类似地,当 $\tau/$

$\kappa$  扭力大于或小于零时,那么满足指示井筒路径为3D路径的数学条件,且井筒路径可被归类为逐步增大的螺旋径向路径。

[0056] 对于3D井筒路径,在一些实施方案中,控制器模块210可被进一步配置,以便计算或确定井筒路径的旋转指数(I)。旋转指数为几何量,该几何量当法线被向内定向(也就是,曲线呈逆时针发展)时估计曲线和正循环中的回路数。计算旋转指数是用于定义两个勘测站之间的空间曲线的特征的另一种方法,且该方法可用于帮助定义或以其它方式描述井筒路径轨道。旋转指数可根据以下等式确定:

$$[0057] \quad I = \frac{1}{2\pi} \int_a^b \kappa(s) ds \quad \text{等式(7)}$$

[0058] 其中  $\int_a^b \kappa(s) ds$  对应于总曲率,即用  $2\pi$  乘以曲线的旋转指数。例如,平面曲线(诸如,通过使圆变形获得的圆形或曲线)的旋转指数将始终为一个。更大体而言,对于使用总曲率的空间曲线,其可表示为:

$$[0059] \quad I = \frac{1}{2\pi} \int_a^b \left( \sqrt{\kappa(s)^2 + \tau(s)^2} \right) ds \quad \text{等式(8)}$$

[0060] 使用以上等式(5),可看出的是:

$$[0061] \quad I = \frac{1}{2\pi} E_s \quad \text{等式(9)}$$

[0062] 也就是说,当前钻井路径内的旋转或螺旋越多相当于钻井路径剖面的能量越大,或钻孔以便返回至规划井筒路径300所需要的能量越大。控制器模块210对旋转指数的计算被证明可用于基于两个勘测站之间的下井仪器串的旋转确定新的倾斜度、方位和应变能。其还将基于能量增加提供对钻井路径如何螺旋的估计。

[0063] 因此,控制器模块210可基于从测量系统404获得的测量值和内部计算确定或以其它方式推断勘测站之间的井筒路径的形状。知晓井筒路径形状被证明可用于允许控制器模块210自动地生成被设计用于纠正井筒轨道的纠正性命令信号408,由此将对钻孔系统402的后续调整实时自动化。

[0064] 现在参考图5,继续参考图4,说明根据一个或多个实施方案的控制器模块210的示意图。本公开可通过计算机可执行指令程序(诸如程序模块)实施,所述程序大体上称为由计算机(诸如控制器模块210)执行的软件应用或应用程序。软件可包括例如程式、程序、目标、组分和执行特定任务或实施特定抽象数据类型的数据结构。软件形成接口,该接口用于允许控制器模块210根据输入源作出反应。

[0065] 应用程序502可用作接口程序来实施本文所公开的方法。在一些实施方案中,应用程序可为WELLPLAN™,其为由Landmark Graphics公司销售的可购得软件应用。软件还可与其它代码段协作,以便响应于结合接收的数据源而接收的数据启动多种任务。应用程序502可存储在存储器504上。存储器504主要存储应用程序502,该应用程序502还可被描述成包含非暂时性计算机可执行指令的程序模块,所述计算机可执行指令由控制器模块210执行以便实施本文所公开的方法。因此,存储器504可还包括井筒轨道模块506,该模块506包含对应于规划井筒路径300(图3)的数据,且该模块506可能够结合应用程序502(也就是,

WELLPLAN™)一起操作。

[0066] 虽然控制器模块210被示出为具有通用存储器504,但是控制器模块210可包括多种计算机可读介质。例如但不进行限制,计算机可读介质可包括计算存储介质和通信介质。存储器504可包括呈易失性和/或非易失性存储器形式的计算机存储介质,诸如只读存储器(ROM)和随机存取存储器(RAM)。包含基本程式的基本输入/输出系统(BIOS)通常存储在ROM中,所述基本程式有助于诸如在启动期间在控制器模块210内的元素之间传递信息。RAM通常包含数据和/或程序模块,所述数据和/或程序模块可被处理单元508立即访问,和/或目前正由处理单元508在其上进行操作。

[0067] 存储器504中示出的组分还可包括在其它可移动/不可移动、易失性/非易失性计算机存储介质中。仅举例来说,硬盘驱动器可从不可移动、非易失性磁性介质进行读取或可写入至该不可移动、非易失性磁性介质;磁盘驱动器可从可移动非易失性磁盘进行读取或可写入至该可移动非易失性磁盘;且光盘驱动器可从可移动、非易失性光盘进行读取或可写入至该可移动、非易失性光盘,该光盘诸如CD ROM或其它光学介质。可在示例性操作环境中使用的其它可移动/不可移动、易失性/非易失性计算机存储介质可包括但不限于:盒式磁带、快闪存储卡、数字多用途光盘、数字视频磁带、固态RAM、固态ROM等。上面讨论的驱动器及其相关联计算机存储介质提供对控制器模块210的计算机可读指令、数据结构、程序模块和其它数据的存储。

[0068] 钻井操作人员可通过客户端接口510输入命令和信息至控制器模块210中,该客户端接口510可包括一个或多个输入设备,诸如键盘和指向设备(俗称鼠标、轨迹球或触控板)。输入设备还可包括扩音器、控制杆、天线接收器、扫描器等。这些和其它输入设备还可通过客户端接口510以及借助于系统总线(未图示)连接至处理单元508,但是可由其它接口和总线结构(诸如并行端口或通用串行总线(USB))进行连接。监控器或其它类型的显示设备可通过接口(诸如,视频接口)连接至系统总线。除了监控器之外,计算机还可包括诸如扬声器和打印机的其它外围输出设备,所述设备可通过输出外围接口进行连接。

[0069] 虽然控制器模块210的许多其它内部组分未示出,但是本领域技术人员应了解这些组分及其互连是熟知的。此外,本领域技术人员应了解,本公开的方法可利用多种计算机系统配置进行实践,所述多种计算机系统配置包括手持式设备、多处理器系统、基于微处理器的或可编程消费电子产品、小型计算机、大型计算机等。可接受任何数量的计算机系统 and 计算机网络与本公开一起使用。本公开可在分布式计算环境中进行实践,在所述环境中任务由通过通信网络连接的远程处理设备执行。在分布式计算环境中,程序模块可定位在包括存储器存储设备的本地计算机存储介质和远程计算机存储介质中。本公开因此可结合各种硬件、软件或二者的组合在计算机系统或其它处理系统中实施。

[0070] 现在参考图7,说明根据本文所描述的一个或多个实施方案的将钻孔操作自动化的方法700的流程图。方法700可包括在地下地层内推进井底组件(BHA)以便形成井筒,如702处所述。井筒可沿实际井筒路径形成,但是可遵循规划井筒路径。BHA可包括控制器模块、一个或多个传感器和操纵组件。勘测测量值可利用沿实际井筒路径的两个或更多个勘测站处的一个或多个传感器进行记录,如704处所述。

[0071] 方法700可还包括将勘测测量值与对应于规划井筒路径的数据进行比较,如706处所述。可在控制器模块内完成或以其它方式处理这种比较。然后可基于实际井筒路径的最

低能量确定返回路径,如708处所述。这可当实际井筒路径已经偏离规划井筒路径时进行确定,且然后可需要纠正措施。因此,纠正性命令信号可传送给操纵组件,以便重新定向实际井筒路径,如710处所述。换句话说,控制器模块可被配置以便计算和传送纠正性命令信号至操纵组件,以便变更实际井筒路径的轨道,以使得其返回至规划井筒路径。

[0072] 本文所公开的实施方案包括:

[0073] A. 一种方法,该方法包括:在地下地层内推进井底组件(BHA)并由此形成沿实际井筒路径的井筒,该BHA包括控制器模块、一个或多个传感器和操纵组件;利用沿实际井筒路径的两个或更多个勘测站处的一个或多个传感器记录勘测测量值;利用控制器模块将所述勘测测量值与对应于规划井筒路径的数据进行比较;当实际井筒路径已经偏离规划井筒路径时,利用控制器模块基于实际井筒路径的最低能量确定返回路径;以及利用控制器模块传送纠正性命令信号至操纵组件,以便重新定向实际井筒路径的轨道,以使得其返回至规划井筒路径。

[0074] B. 一种用于对井筒进行钻孔的系统。该系统可包括:测量系统,该测量系统被配置以便获得沿实际井筒路径的两个或更多个勘测站处的勘测测量值;控制器模块,其可通信地联接至测量系统且被配置以便将勘测测量值与对应于规划井筒路径的数据进行比较,且当实际井筒路径已经偏离规划井筒路径时基于实际井筒路径的最低能量确定返回路径;以及钻孔系统,其可通信地联接至控制器模块,该钻孔系统被配置以便从控制器模块接收一个或多个纠正性命令信号并重新定向实际井筒路径的轨道,以使得其返回至规划井筒路径。

[0075] C. 一种非暂时性计算机可读介质,其包括存储在其上的计算机可读指令,当所述指令被处理器执行时将处理器配置用于执行功能,包括:利用布置在沿正由井底组件(BHA)进行钻孔的井筒的两个或更多个勘测站处的该井筒组件中的一个或多个传感器记录勘测测量值,该BHA被推进至地下地层中并由此形成实际井筒路径;利用布置在BHA中的控制器模块将勘测测量值与对应于规划井筒路径的数据进行比较;当实际井筒路径偏离规划井筒路径时利用控制器模块基于实际井筒路径的最低能量确定返回路径;以及利用控制器模块传送纠正性命令信号至BHA的操纵组件,以便重新定向实际井筒路径的轨道,以使得其返回至规划井筒路径。

[0076] 实施方案A、B和C中的每一个可具有呈任何组合形式的以下额外元素中的一个或多个:元素1:还包括将勘测测量值的记录自动化;确定返回路径;以及重新定向实际井筒路径,以使得BHA自动返回至规划井筒路径。元素2:其中利用控制器模块确定返回路径包括将返回至规划井筒路径的实际井筒路径的曲率和扭力最小化。元素3:如权利要求1所述的方法,其还包括利用所述操纵组件响应于所述纠正性命令信号调整一个或多个钻孔参数。元素4:其中利用一个或多个传感器记录勘测测量值包括测量实际井筒路径的实时条件,以及实时传送勘测测量值至控制器模块。元素5:还包括通过自动地实时传送纠正性命令信号至操纵组件来将实际井筒路径维持成沿规划井筒路径。元素6:还包括利用控制器模块确定实际井筒路径的形状。元素7:还包括至少部分基于实际井筒路径的形状生成纠正性命令信号。元素8:还包括利用控制器模块计算实际井筒路径的旋转指数。

[0077] 元素9:其中测量系统包括随钻测量工具和随钻测井工具中的至少一个。元素10:其中随钻测量工具被配置以便测量和获得关于井底组件的方向信息,该方向信息包括井底

组件的倾斜角度和方位角度。元素11:其中钻孔系统包括旋转可操纵式工具和可操作地联接至该工具的至少一个钻头。元素12:其中旋转可操纵式工具从控制器模块接收一个或多个纠正性命令信号并调整一个或多个钻孔参数,以便重新定向至少一个钻头的轨道,以使得实际井筒路径返回至规划井筒路径。元素13:其中一个或多个钻孔参数为钻压、通过钻柱的钻孔流体流、钻柱的旋转速度、钻孔流体的密度和粘度和井底组件的方位和倾斜度中的至少一个。元素14:其中控制器模块包括处理单元,该处理单元被配置以便将返回至规划井筒的实际井筒路径的曲率和扭力最小化。

[0078] 因此,公开的系统和方法被很好地适应用于获得提及的结果和优点以及固有的那些结果和优点。以上公开的特定实施方案仅为说明性的,因为可利用受益于本文的教导的本领域技术人员明白的不同但等效的方式对本公开的教导进行修改和实践。另外,本文所示出的构造或设计的细节不应受到限制,而是以以下权利要求的描述为准。因此,显而易见的是,可对以上公开的特定说明性实施方案进行改变、组合或修改,且所有这些变化被视为是在本公开的范围之内。可在无本文未具体公开的任何元素和/或本文所公开的任何任选元素的情况下合适地实践本文说明性地公开的系统和方法。虽然使用“包括”、“包含”或“包括”各种组分或步骤的词语对组合物和方法进行了描述,但是所述组合物和方法还可“大体上由各种组分和步骤组成”或“由各种组分和步骤组成”。以上公开的所有数值和范围可以一定的量进行变化。只要公开了具有下限和上限的数值范围,也就具体地公开在该范围的任何数值和任何涵盖的范围。具体地说,本文所公开的每个值范围(形式为“从约a至约b”或同等地“从大约a至b”或同等地“从大约a-b”)应理解成阐述了涵盖在更宽泛的值范围内的每一个数值和范围。而且,权利要求中的术语具有其简单、普通含义,除非专利权所有人另外明确且清除地进行定义。此外,权利要求中所使用的不定冠词“一”或“一个”在本文中被定义成表示其所介绍的元素的一个或一个以上。如果本说明书和以引用方式并入本文的一个或多个专利或其它文档对措辞或术语的使用存在任何冲突,那么应采用与本说明书相一致的定義。

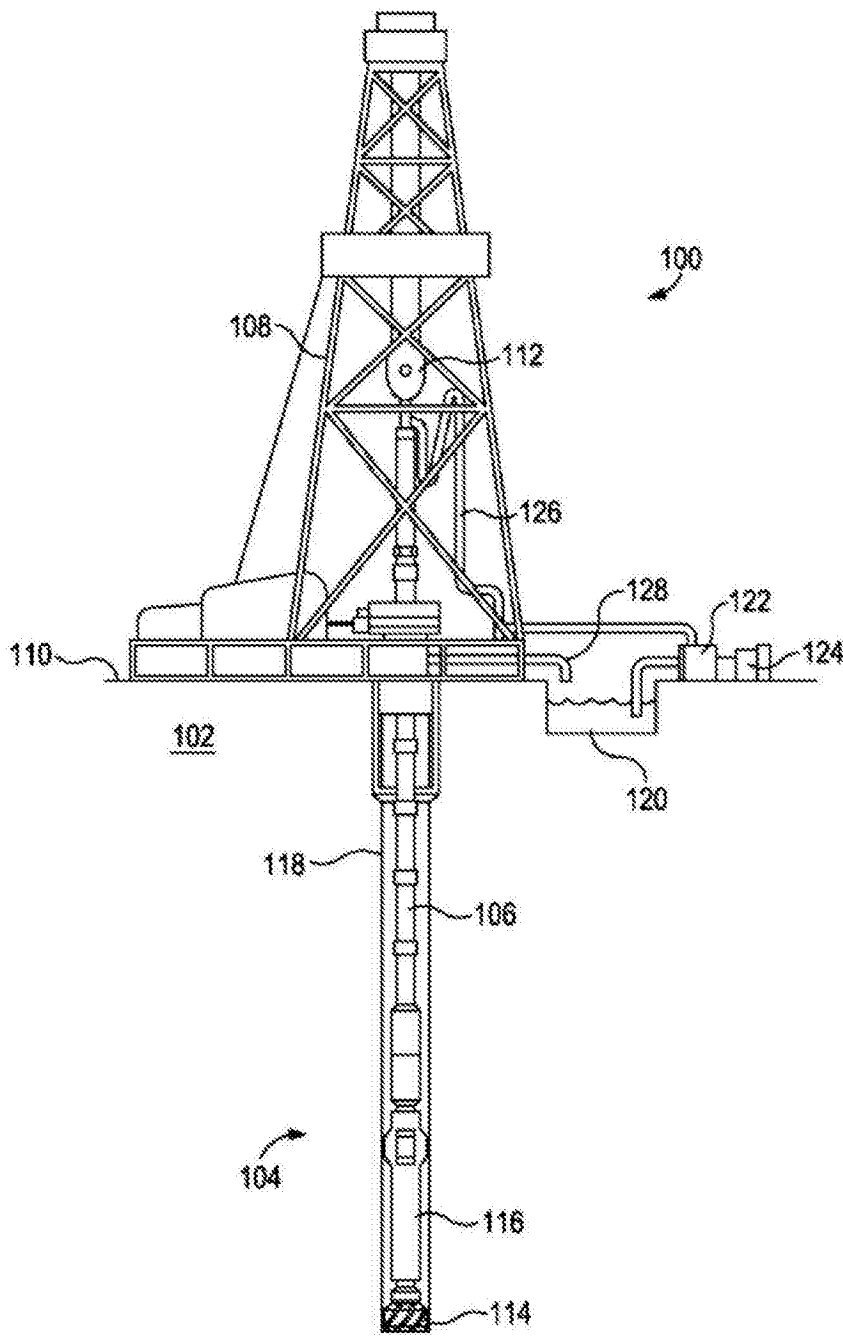


图1

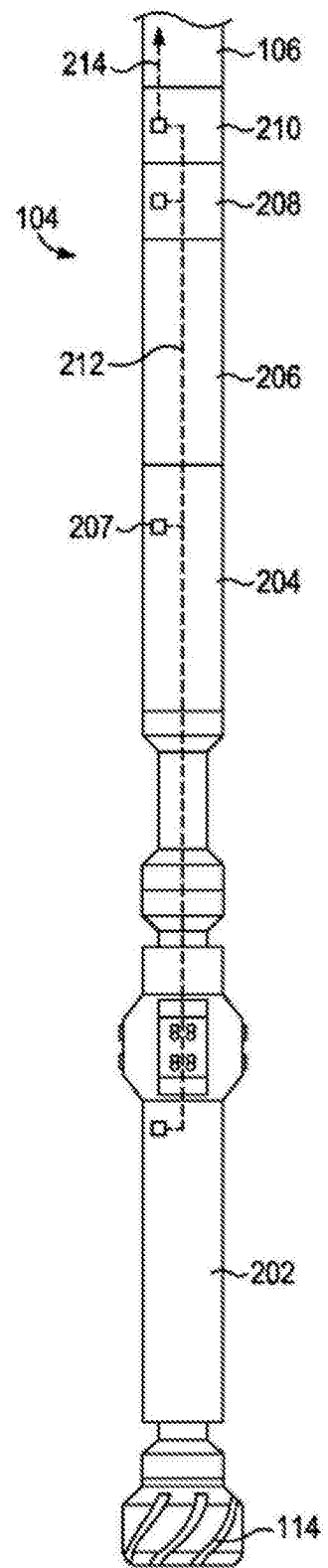


图2

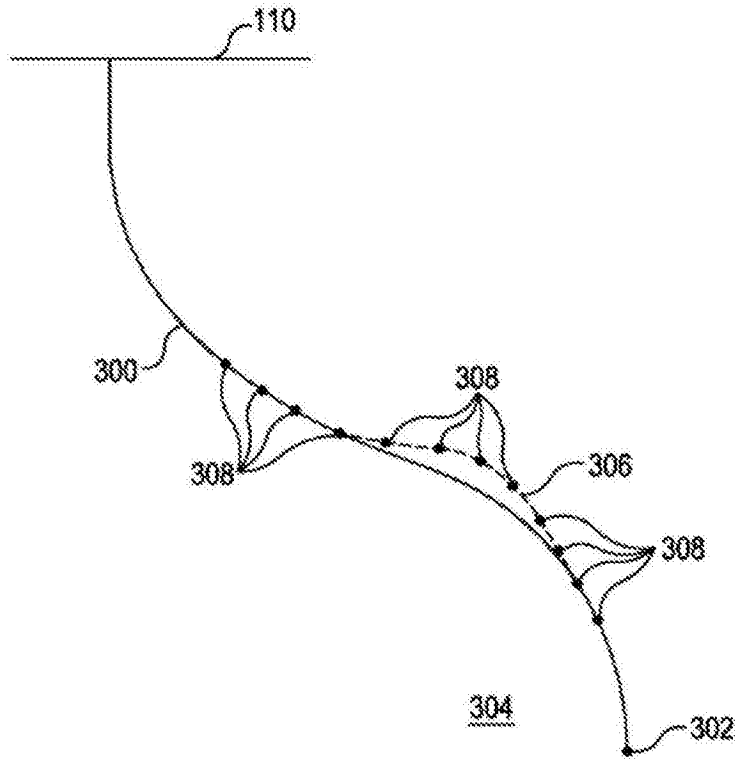


图3

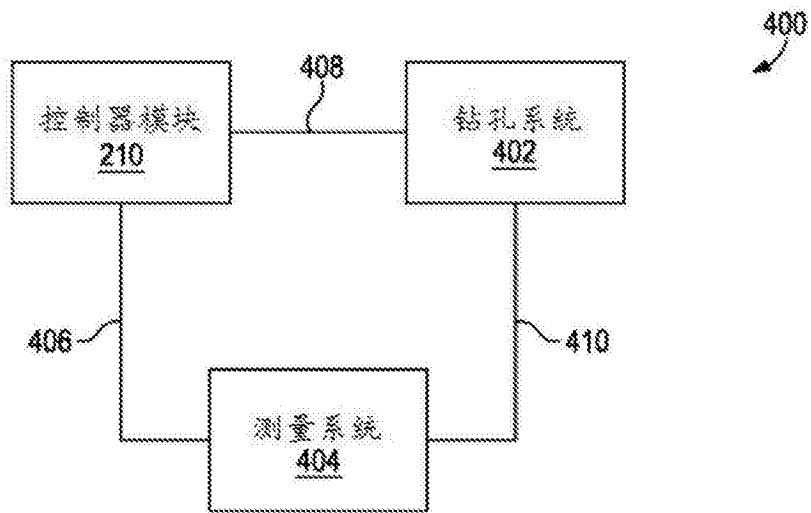


图4

210

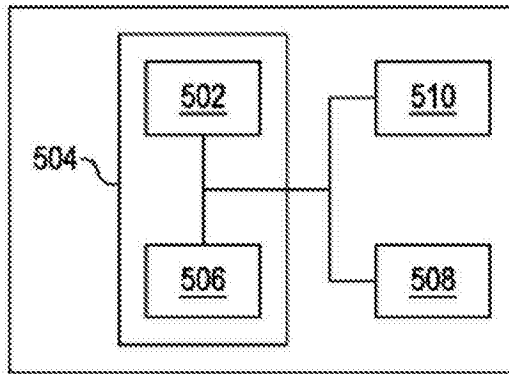


图5

600

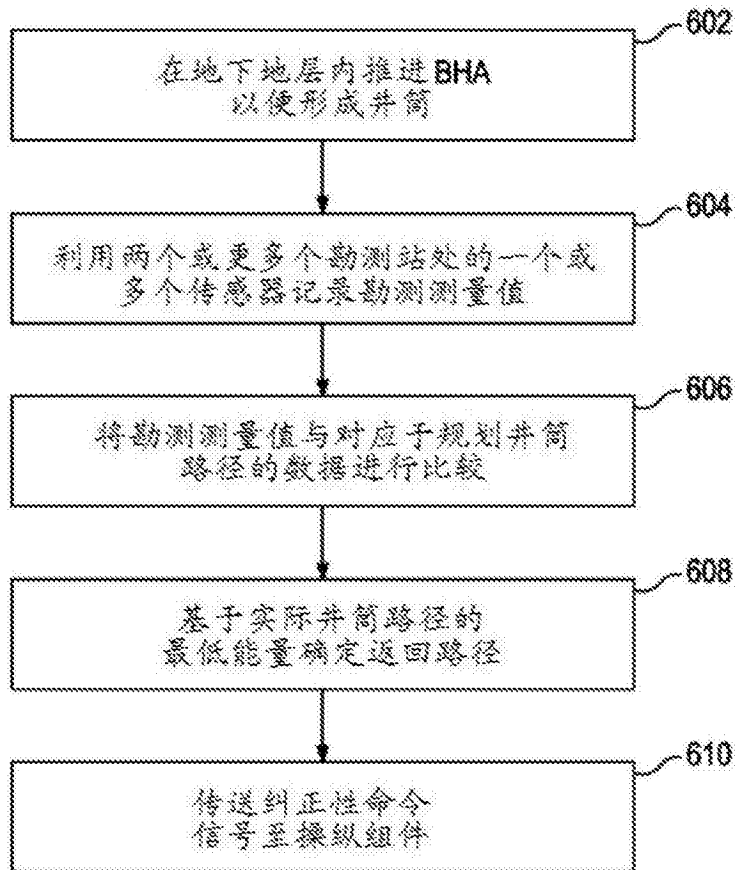


图6