



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110268132 A

(43)申请公布日 2019.09.20

(21)申请号 201780082965.1

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

(22)申请日 2017.11.21

利商标事务所 11038

(30)优先权数据

代理人 王玉玺

62/427,321 2016.11.29 US

(51)Int.Cl.

15/629,378 2017.06.21 US

E21B 41/00(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

G06F 17/50(2006.01)

2019.07.10

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2017/062745 2017.11.21

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/102194 EN 2018.06.07

(71)申请人 通用电气(GE)贝克休斯有限责任公司

地址 美国得克萨斯

(72)发明人 里德·W·斯宾塞

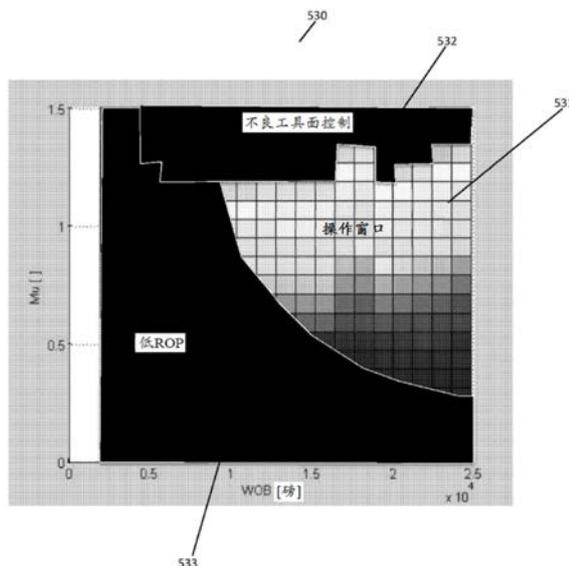
权利要求书2页 说明书9页 附图14页

(54)发明名称

用于地下地层的定向钻井中的最优工具面控制的系统、方法和设备

(57)摘要

描述了辅助穿过地下地层的定向钻井的系统、方法和设备。提供一种模型,所述模型指示:(i)在BHA与穿过地下地层的非线性钻孔的壁的一个或多个接触点处的一个或多个摩擦力;(ii)在所述一个或多个接触点之间的所述BHA的一个或多个内部扭矩;和(iii)在所述一个或多个接触点之间的钻柱的一个或多个内部扭矩。基于所述模型,针对钻井系统确定工具面严重性,所述工具面严重性对应于针对所述BHA的所施加钻压(WOB)的变化的角偏转的变化。基于所述工具面严重性与不同设计的另一工具面严重性的比较来选择用于所述钻井系统的设计。钻井可通过具有底部钻具组合(BHA)的钻井系统来执行,所述钻井系统被优化以减少沿着非线性钻孔的工具面定向上的波动。



1. 一种设计具有底部钻具组合 (BHA) 和钻柱的钻井系统的计算机实现的方法, 所述方法包括:

提供模型, 所述模型指示: (i) 在所述BHA与穿过地下地层的非线性钻孔的壁的一个或多个接触点处的一个或多个摩擦力; (ii) 在所述一个或多个接触点之间的所述BHA的一个或多个内部扭矩; 和 (iii) 在所述一个或多个接触点之间的所述钻柱的一个或多个内部扭矩;

基于所述模型, 针对所述钻井系统确定工具面严重性, 所述工具面严重性对应于针对所述BHA的所施加钻压 (WOB) 的变化的角偏转的变化; 以及

基于所述工具面严重性与不同设计的另一工具面严重性的比较来选择用于所述钻井系统的设计。

2. 如权利要求1所述的方法, 所述方法还包括: 基于所述选择的设计来装配所述钻井系统。

3. 如权利要求1所述的方法, 所述方法还包括: 确定有效钻柱长度。

4. 如权利要求3所述的方法, 其中确定有效钻柱长度包括识别所述钻柱的具有扭力的第一区段和所述钻柱的不具有扭力的第二区段。

5. 如权利要求1所述的方法, 所述方法还包括:

提供对应于第一钻头的第一参数;

提供对应于不同于所述第一钻头的第二钻头的第二参数; 以及

基于所述第一参数和所述第二参数来最优地选择所述第一钻头或所述第二钻头。

6. 如权利要求5所述的方法, 其中最优地选择包括基于预期的工具面控制来选择所述第一钻头或所述第二钻头。

7. 如权利要求5所述的方法, 其中最优地选择包括确定对应于所述第一钻头的第一工具面严重性和对应于所述第二钻头的第二工具面严重性, 所述第一工具面严重性和所述第二工具面严重性基于所述第一钻头和所述第二钻头的共同WOB、扭矩和攻击性。

8. 一种穿过地下地层定向钻井的方法, 所述方法包括利用具有底部钻具组合 (BHA) 的钻井系统进行钻井, 基于对钻速、钻压和角偏转的一个或多个预测对所述钻井系统进行优化以减少沿着非线性钻孔的工具面定向上的波动。

9. 如权利要求7所述的方法, 其中所述钻井系统是弯曲马达钻井系统。

10. 如权利要求7所述的方法, 其中所述BHA包括钻头。

11. 如权利要求3所述的方法, 其中所述钻头是固定切削元件钻头、牙轮钻头、混合式钻头和聚晶金刚石钻头中的一种。

12. 一种使计算机能够辅助设计钻井系统的计算机程序产品, 所述程序产品包括:

非暂时性计算机可读介质; 以及

在所述介质上的适合使所述计算机能够执行以下操作的指令:

提供模型, 所述模型指示: (i) 在BHA与穿过地下地层的非线性钻孔的壁的一个或多个接触点处的一个或多个摩擦力; (ii) 在所述一个或多个接触点之间的所述BHA的一个或多个内部扭矩; 和 (iii) 在所述一个或多个接触点之间的所述钻柱的一个或多个内部扭矩;

基于所述模型, 针对所述钻井系统确定工具面严重性, 所述工具面严重性对应于针对所述BHA的所施加钻压 (WOB) 的变化的角偏转的变化; 以及

基于所述工具面严重性与不同设计的另一工具面严重性的比较来选择用于所述钻井系统的设计。

13. 如权利要求12所述的计算机程序产品,其中用于所述钻井系统的所述设计包括用于所述BHA、钻柱和钻头的设计中的一个或多个。

14. 如权利要求12所述的计算机程序产品,其中所述介质上的所述指令还适合使所述计算机能够执行确定有效钻柱长度的操作。

15. 如权利要求14所述的计算机程序产品,其中确定有效钻柱长度包括识别所述钻柱的具有扭力的第一区段和所述钻柱的不具有扭力的第二区段。

16. 如权利要求12所述的计算机程序产品,其中所述介质上的所述指令还适合使所述计算机能够执行以下操作:

提供对应于第一钻头的的第一参数;

提供对应于不同于所述第一钻头的第二钻头的第二参数;以及

基于所述第一参数和所述第二参数来最优地选择所述第一钻头或所述第二钻头。

17. 如权利要求16所述的计算机程序产品,其中最优化地选择包括基于所述第一钻头的预期工具面控制和所述第二钻头的预期工具面控制来选择所述第一钻头或所述第二钻头。

18. 如权利要求16所述的计算机程序产品,其中最优化地选择包括确定对应于所述第一钻头的的第一工具面严重性和对应于所述第二钻头的第二工具面严重性,所述第一工具面严重性和所述第二工具面严重性基于所述第一钻头和所述第二钻头的至少共同WOB、扭矩和攻击性。

19. 一种用于在穿过地下地层钻出钻孔的同时实现工具面控制的系统,所述系统包括:

计算机模型,所述计算机模型指示针对多个钻头的工具面控制的差异;以及

钻井系统,所述钻井系统包括第一钻头,根据所述计算机模型,所述第一钻头具有比所述多个钻头中的至少一个其他钻头高的工具面控制。

20. 如权利要求19所述的系统,所述系统还包括:

监测装置,所述监测装置用于确定沿着穿过所述地下地层的所述钻孔的至少部分的所述钻井系统的工具面的角偏转的度量;以及

处理模块,所述处理模块被配置成确定第二钻机,根据所述计算机模型,所述第二钻机具有比所述角偏转的所述度量高的工具面控制。

用于地下地层的定向钻井中的最优工具面控制的系统、方法和设备

[0001] 优先权要求

[0002] 本申请要求在2017年6月21日提交的关于“用于地下地层的定向钻井中的最优工具面控制的系统、方法和设备”的美国专利申请序号15/629,378的提交日期的权益。本申请还要求在2016年11月29日提交的美国临时专利申请序号62/427,321的权益,每一个所述专利申请的内容和公开内容特此通过引用全文并入。

技术领域

[0003] 本公开的实施方案涉及地下地层的非线性钻井、诸如定向钻井中的工具面控制。一些实施方案涉及用于对钻井系统在各种钻压值下的工具面响应进行计算机辅助建模的技术,而其他实施方案涉及合并这些技术以优化工具面控制的系统和方法。

背景技术

[0004] 许多定向钻井系统使用弯曲马达(诸如弯曲马达AKO系统)沿着曲线或非线性路径进行钻井。用户尤其通过控制在底部钻具组合(BHA)的远端处的钻头的工具面方向来操纵这种系统。

[0005] 司钻于钻塔处监测定向钻井期间的工具面定向的变化,并且利用弯曲马达对其作出响应,这是因为钻柱上的扭矩能够使钻井系统偏离预期的钻井路径。司钻通常经由制动器来调整钻压(WOB),以控制钻速(ROP)和钻柱上的扭矩。增大WOB通常引起ROP增大,但是也能够导致工具面控制的损失,并且因此导致不遵循预期钻井路径的BHA的轨迹。因此,可能需要司钻定期地暂停钻井并且重定向BHA,以维持预期的钻井轨迹。

[0006] 司钻通常依赖于其关于给定BHA的经验来估计可以施加的最大WOB,以便在维持工具面控制的同时使ROP达到最大。如果司钻不熟悉钻头或BHA、钻井路径或要钻通的一种或多种地层材料,则沿着预期路径有效地并且准确地钻井的能力可严重受损。此外,如果司钻选择攻击性钻头并且低估钻头对工具面控制的影响,则用于维持工具面控制的WOB可能减慢钻井操作,降低利用效率,并且通常使成本增加,同时降低盈利能力。其他问题和缺点也可以存在于现有技术中。

[0007] 因此,需要帮助克服上文描述的限制和缺陷的工具。

发明内容

[0008] 根据与附图和详细描述相结合的以下概述,本公开的方面和优点对于所属领域的普通技术人员将是显而易见的。

[0009] 本公开的一个或多个实施方案包括设计具有底部钻具组合(BHA)和钻柱的钻井系统的计算机实现的方法。这些方法的一个或多个实施方案包括提供模型。所述模型可以指示:(i)在所述BHA与穿过地下地层的非线性钻孔的壁的一个或多个接触点处的一个或多个摩擦力;(ii)在所述一个或多个接触点之间的所述BHA的一个或多个内部扭矩;和(iii)在

所述一个或多个接触点之间的所述钻柱的一个或多个内部扭矩。基于所述模型,可以针对所述钻井系统确定工具面严重性。所述工具面严重性可以对应于针对所述BHA的所施加钻压(WOB)的变化的角偏转的变化。可以基于所述工具面严重性与不同设计的另一工具面严重性的比较来选择用于所述钻井系统的设计。

[0010] 其他实施方案包括穿过地下地层定向钻井的方法。这些方法的一个或多个实施方案可以包括利用具有底部钻具组合(BHA)的钻井系统进行钻井,所述钻井系统被优化以减少沿着非线性钻孔的工具面定向上的波动。用于减少沿着非线性钻孔的工具面定向上的波动的优化可以基于对钻速、钻压和角偏转的一个或多个预测。

[0011] 其他实施方案包括用于使计算机能够辅助设计钻井系统的计算机程序产品。所述程序产品的一个或多个实施方案可以包括非暂时性计算机可读介质。所述暂时性计算机可读介质上的指令可以适合使所述计算机能够执行特定操作。所述操作可以包括提供模型。所述模型可以指示:(i)在BHA与穿过地下地层的非线性钻孔的壁的一个或多个接触点处的一个或多个摩擦力;(ii)在所述一个或多个接触点之间的所述BHA的一个或多个内部扭矩;和(iii)在所述一个或多个接触点之间的所述钻柱的一个或多个内部扭矩。所述操作还可以包括基于所述模型来针对所述钻井系统确定工具面严重性,所述工具面严重性对应于针对所述BHA的所施加钻压(WOB)的变化的角偏转的变化。所述操作还可以包括基于所述工具面严重性与不同设计的另一工具面严重性的比较来选择用于所述钻井系统的设计。

[0012] 其他实施方案包括用于在穿过地下地层钻出钻孔的同时实现工具面控制的系统。所述系统的一个或多个实施方案可以包括计算机模型和钻井系统。所述计算机模型可以指示针对多个钻头的工具面控制的差异。所述钻井系统可以包括第一钻头,根据所述计算机模型,所述第一钻头具有比所述多个钻头中的至少一个其他钻头高的工具面控制。

[0013] 根据随后的描述、附图和权利要求,本公开的所述实施方案的前述和其他特征和优点将变得更显而易见。

附图说明

[0014] 以下附图形成本说明书的部分,并且包括所述附图以进一步说明所公开的实施方案的特征和方面。可以通过参考与随后的对每个特定实施方案的详细描述相结合的这些附图中的一个或多个来更好地理解所公开的实施方案。

[0015] 图1图示根据本公开的一实施方案的用于计算机辅助设计和计算机辅助钻井操作的计算机系统。

[0016] 图2A和图2B图示根据本公开的一实施方案的可以建模和优化的钻井系统和用于钻井系统的钻井路径。

[0017] 图3是根据本公开的一实施方案的用于建模和分析钻井操作的预期性能的操作的流程图。

[0018] 图4A和图4B是根据本公开的一实施方案的用于建模和分析钻井系统所经历的预期工具面严重性的操作的流程图。

[0019] 图5A至图5E图示图形模型,所述图形模型并入有工具面严重性并且可用于钻井系统和钻井操作的计算机辅助设计和优化中。

[0020] 图6根据本公开的一实施方案图示用于提供托管服务的系统,所述托管服务包括

建模、分析和优化钻井系统的预期性能。

[0021] 图7是根据本公开的一实施方案的提供用于建模、分析和优化钻井系统的预期性能的托管服务的系统的操作的流程图。

[0022] 图8图示用于促进钻井系统和钻井操作的计算机辅助设计和优化的各种图形用户界面。

[0023] 图9图示用于实时优化在地下地层的定向钻井期间的工具面控制的系统。

[0024] 本专利或申请文件含有按色彩执行的至少一个附图。该专利或专利申请公开的具有彩色附图的副本将在请求和支付必要费用之后由官方提供。

具体实施方式

[0025] 本公开的各种实施方案涉及钻井性能的计算机辅助建模。如本文中所使用的术语,计算机系统包括至少一个非暂时性计算机可读存储器和至少一个处理器。一般来说,存储器在这样或那样的时间将存储可执行程序码的至少部分,并且处理器将执行包括在那个可执行程序码中的指令中的一个或多个。将理解,出于本描述的目的,术语“可执行程序码”和术语“软件”意味基本上同一事物。不需要存储器和处理器在物理上位于同一地点。处理器和存储器可以分散在装备的物理片段中或甚至在地理上不同的位置中。

[0026] 处理器可以是通用“中央处理单元”,但是可以利用广泛的多种其他技术,并且专用硬件可以用于实现本公开的实施方案,包括微型计算机、迷你计算机、大型计算机、编程的微处理器、微控制器、外围集成电路元件、CSIC(客户专用集成电路)、ASIC(专用集成电路)、逻辑电路、数字信号处理器、可编程逻辑装置(诸如FPGA(现场可编程门阵列)、PLD(可编程逻辑装置)、PLA(可编程逻辑阵列))、RFID集成电路、智能芯片,或能够实施本发明的过程的步骤的任何其他装置或一系列装置。处理器可以由单个核心组成,或可以是多核处理器,所述多核处理器具有能够操作并行独立的执行指令的两个或更多个处理单元。

[0027] 本公开的各种实施方案可以以术语“模块”和“引擎”的形式来描述,所述术语指代以硬件和/或软件体现的用于实现本文中所描述的特征、功能、任务或步骤的逻辑。在通用计算机的情况下,“模块”和“引擎”可以体现为由处理器核心执行的软件类别和应用,且当所述模块或引擎在执行时,通用计算机可被视为特殊用途计算机或专用计算机。“模块”和“引擎”还可以与专用硬件有关,所述专用硬件包括固件和控制其操作的机器码。

[0028] 此外,当以软件体现时,使计算机系统能够根据本公开的实施方案起作用的“模块”和“引擎”可以多种语言形式来提供,所述语言形式包括但不限于原始源代码、汇编代码、目标代码、机器语言、前述各者的压缩或加密版本和任何全部等同物。可以用于编写软件的语言的一些实例包括(但不限于)C、C++、**JAVA®**、**MATLAB®**、**MINITAB®**、**EXPRESS**、**DRAKON**、**DYNA®**、**PYTHON**和**RUBY**。软件程序可以另外转译成机器语言或虚拟机指令,并且存储在那个形式的程序文件中。然后可将程序文件存储在制品中的一个或多个上或中。

[0029] 用户可以借助于显示器上的图形用户界面(GUI)和输入装置与本文所描述的计算机系统交互,所述输入装置诸如触摸屏、键盘、计算机鼠标、触压板和类似物。

[0030] 图1图示了计算机系统100,所述计算机系统包括建模引擎101、分析引擎102、构建引擎103和软件工具104。根据本公开的一实施方案,建模引擎101、分析引擎102和构建引擎

103被配置成辅助计算机实现的钻井系统的模拟、优化和设计。软件工具104被配置成结合建模引擎101、分析引擎102和构建引擎103促进钻井系统的CAD设计和优化。尽管建模引擎101、分析引擎102、构建引擎103和软件工具104被图示为计算机系统100内的单独模块，但是建模引擎101、分析引擎102和构建引擎103可以例如作为用于执行下文所描述的分析的一或多个库而合并至软件工具104中。

[0031] 在本公开的一个实施方案中，计算机系统100被配置用于如Spencer, R.的在2015年5月21公布的题为“定向钻前模拟器：使用BHA和钻头模型的定向井筒预测 (DIRECTIONAL DRILL AHEAD SIMULATOR: DIRECTIONAL WELLBORE PREDICTION USING BHA AND BIT MODELS)”的美国专利申请公布号2015/0142406中所描述的模拟和设计，所述申请的全部内容和公开内容特此通过该引用而并入。

[0032] 建模引擎101的实施方案被配置成执行计算以尤其对钻井系统的工具面定向的方面进行建模。在一个实施方案中，建模引擎101利用有限元 (FE) 类型组件来对钻井系统建模，所述钻井系统包括穿过地层的BHA、钻柱和钻孔。FE网络组件可以使用CAD软件包获得。CAD软件包的非限制性实例包括Solid Works、ProEngineer、AutoCAD和CATIA。所述模型的各种实施方案可以是三维或二维的。所述模型可以包括例如几何性质以及诸如密度、刚度、抗张强度的材料性质，和关于钻井系统的工具面定向的其他性质，包括本文中所描述的那些性质。

[0033] 建模引擎101可以被配置成接受与对钻井系统建模有关的一个或多个输入，包括待钻取的材料、BHA和钻柱的钻头和其他部件、以及工具面的参数和导入模型。每个这种模型可以包括或促进用于所建模项目的摩擦力的建模。

[0034] 分析引擎102的实施方案被配置成执行计算和分析钻井系统的模型 (包括在定向钻井期间的性能)。在一些实施方案中，分析引擎102可以包括用于FE组件的FE分析 (包括本文所描述的分析方式) 的程序包。作为非限制性实例，分析的类型可以包括计算摩擦力、内力和响应力 (例如，工具面定向和偏转) 和类似分析。

[0035] 构建引擎103的实施方案被配置成构建钻井系统的模型和设计，包括根据基于通过建模引擎101和分析引擎102执行的建模和分析而选择的参数的模型和设计。构建引擎103可以被配置成生成与设计有关的文件和数据集。

[0036] 图2A图示根据本公开的一实施方案的钻井系统200，可针对图2B中所图示的定向钻井操作对所述钻井系统建模和分析。钻井系统200包括钻柱201、底部钻具组合 (BHA) 202和钻头203。图2A中还图示了BHA与孔壁205之间的摩擦204。

[0037] 对于钻井系统200，钻柱201具有刚度“ k ”，BHA具有质量“ m ”，摩擦204是值“ b ”，并且钻头203产生扭矩“ T ”以用于由WOB产生的给定切削深度 (DOC)。

[0038] 图2B图示根据本公开的一实施方案的沿着钻井系统200的钻井路径206穿过地层的钻孔的模拟。接触力207作用在接触点209处，并且钻井系统的区段208停驻在接触点209之间。如下文所述，在本公开的实施方案中，将计算接触点117处和所述接触点之间的区段118处的力。

[0039] 图3图示根据本公开的一实施方案的在计算机系统100处执行的建模和分析操作。在操作301中，计算机系统100接收用于钻头203、BHA 202的其他部件、钻柱201和待钻取的井筒中的材料的输入或者具有用于钻头203、BHA 202的其他部件、钻柱201和待钻取的井筒

中的材料的输入参数。在各种实施方案中,用户可以输入所述参数或可以导入模型文件。作为非限制性实例,模型文件可以通过ABAQUS® INP、ANSYS® ANS或ANSYS® CDB生成。钻头203的模型的特定模型文件也可以通过DLL定向钻前模拟器、PDC WEAR或BD3根据IDS生成。钻柱201的模型的模型文件也可以使用NOV CTES ORPHEUS生成。

[0040] 在一个实施方案中,钻头203和BHA 202的模型(或多个模型)是Spencer, R.的在2015年5月21日公布的题为“轴向运动钻头模型 (AXIAL MOTION DRILL BIT MODEL)”的美国专利申请公布号2015/0142403中所描述的类型轴向运动钻头模型,所述美国专利申请的全部内容和公开内容特此通过该引用而并入。

[0041] 在本公开的各种实施方案中,在操作302中,建模引擎101(图1)被配置成对所述导入的模型执行网格运算或基于输入参数生成新的模型,并且生成钻头、BHA、钻柱、钻孔和材料的FE模型。所述生成的FE模型可以用于执行如本文所描述的工具面严重性分析。

[0042] 在本公开的各种实施方案中,在操作303中,分析引擎102被配置成使用所述生成的FE模型来确定钻井系统200的工具面严重性。

[0043] 在操作304中,分析引擎102被配置成输出工具面严重性的分析的结果。所述结果可以输出到构建引擎103、软件工具104、存储装置或外部系统(未示出)。

[0044] 如本文中已描述的,计算机系统100可以基于所确定的工具面严重性来确定与钻井系统200相关联的工具面控制和工具面偏转。

[0045] 图4A和图4B图示根据本公开的一实施方案的分析引擎102对钻井系统200的工具面严重性的分析的实例。首先,在操作311中,将WOB施加至BHA。在一个实施方案中,这可以是在地面处读取的WOB。在另一实施方案中,可以在滑动时计算由摩擦引起的井下的WOB (RIH或“下钻”WOB),以考虑到钻头处的力小于由刮刀引起的司钻已规定的力。

[0046] 在操作312中,例如使用诸如FE模型的模型来计算钻头扭矩。在一个实施方案中,使用方程式1来计算钻头扭矩:

[0047] $T_{\text{钻头}} = \mu * \text{WOB}$ (方程式1)

[0048] 其中 μ = 钻头的攻击性(在本文中也称为“Mu”)。钻头的攻击性可以通过钻头被设计成移除的切削深度来确定。例如,n牙轮钻头,攻击性可以通过凸出、齿的节距和牙轮轴移来确定。对于聚晶金刚石复合片(PDC)钻头,攻击性可以通过切削齿出刃度和刀具角度来确定。在一个实施方案中,可以通过方程式2来计算钻头的攻击性:

[0049]
$$\mu = \frac{36 \times \text{扭矩}}{\text{WOB} \times \text{直径}} \quad (\text{方程式2})$$

[0050] 通常,较高的Mu意味着钻头能够以较低WOB产生较大扭矩,但是钻头在研磨性地层中会经受冲击损伤。“Mu”被确定为钻头工具性的量度。

[0051] 在操作313中计算在接触点117(参见图2B)处作用于BHA 202和钻柱201的所有接触力。在操作314中计算切向方向上的所有潜在摩擦力。在一个实施方案中,使用方程式3来计算切向方向上的潜在摩擦力:

[0052] $F_{\text{摩擦}} = F_{\text{接触}} * \mu_{\text{壁摩擦}}$ (方程式3)

[0053] 在操作315中计算由摩擦引起的所有潜在扭矩。在一个实施方案中,使用方程式4来计算由摩擦引起的潜在扭矩:

[0054] $T_{\text{摩擦}} = F_{\text{摩擦}} * \text{半径}$ (方程式4)

[0055] 其中,半径=从BHA或钻柱部件的旋转轴线到BHA或钻柱部件的表面上摩擦力的施加所在的位置的距离。

[0056] 在本公开的各种实施方案中,术语“潜在摩擦”和“潜在扭矩”是指可能出现的反作用切向摩擦力和扭矩。这些摩擦和扭矩是在钻头处所产生的扭矩传递通过整个钻柱的情况下产生。较靠近钻头的摩擦可以防止扭矩沿钻孔向上更远地传递到钻柱。

[0057] 在操作316中计算在每个接触力位置(即,图2B中的接触点117)之间的钻柱201的每个区段118(参见图2B)和BHA 202的全部内部反作用扭矩,并且将所述扭矩存储在向量中。在一个实施方案中,对于每个区段,可以使用方程式5来计算内部反作用扭矩:

[0058] $T_{\text{内部(点x处的)}} = T_{\text{钻头}} - \sum T_{\text{从钻头到x的摩擦}}$ (方程式5)

[0059] 基于在操作316中计算的内部反作用扭矩,在操作317中确定内部反作用扭矩变为零时的点‘x’。钻柱中的内部反作用扭矩变为零时的点是钻柱由于摩擦已掠夺全部扭矩而停止扭转所在的点。在那个点之上的钻柱就坐定在那里。因为没有扭矩,所以不存在工具面的扭转偏转。越过零点的内部反作用扭矩值将为负。一旦计算出全部的内部反作用扭矩,则在操作318中将所有负的内部反作用扭矩值设定为零。在操作319中计算钻柱201、BHA 202和钻头203的角偏转。在一个实施方案中,使用方程式6计算每个区段的角偏转方程式:

[0060] $\theta_i = (T_{\text{内部}} * L) / (G * J)$ (方程式6)

[0061] 其中G=钻柱区段的剪切模数

[0062] J=钻柱区段的极惯性矩

[0063] L=钻柱区段的长度

[0064] 在操作320中计算钻柱201、BHA 202和钻头203的累积角偏转。在一个实施方案中,使用方程式7计算每个区段的累积角偏转,其中n=1到区段的数目:

[0065] $\theta_n = \sum ((T_{\text{内部}} * L) / (G * J))$ (方程式7)

[0066] 在操作321中,计算钻头203处的相对于所施加的WOB的角偏转的变化,所述变化是工具面的变化。在一个实施方案中,使用方程式8来计算作为所施加的WOB的变化的函数的角偏转的变化,在本文中被称作“工具面严重性”的参数:

[0067] $\text{工具面严重性} = (\Delta \text{工具面}) / (\Delta \text{WOB}) = d(\text{TF}) / d(\text{WOB}) = d(\theta_i) / d(\text{WOB})$ (方程式8)

[0068] 导数可以使用WOB(输入)、在操作320中计算的累积角偏转数据和有限差分公式用数字得到。

[0069] 在操作322中,分析引擎102对工具面严重性的计算的结果可以输出到构建引擎103和/或软件工具104。在一些实施方案中,所述结果可以用图形形式显示。

[0070] 现在将参考图5A至图5E来描述利用如同由计算机系统100执行的工具面严重性建模的计算机辅助设计的一实施方案。

[0071] 图5A图示根据本公开的一实施方案的用于模型化的钻井系统的工具面严重性与攻击性与WOB的图形模型500。右侧的条501图示工具面严重性的度量,其中深色块具有低工具面严重性(例如,10),而较浅阴影的块具有高工具面严重性(例如,99)。如在区域502中可见,攻击性钻头/岩石相互作用($\mu = 1.5$)诸如可以在用PDC刮刀钻头进行钻井时展现,可以在WOB波动 $\pm 10001b$ ($\pm 4448N$)的情况下产生 $\pm 90^\circ$ 工具面波动。如在区域503中可见,KYMERA®或三牙轮钻头在相同的波动WOB下仅展现 $\pm 10^\circ$ 的工具面波动。

KYMERA® 和三牙轮钻头分别是混合式(滚动切削结构和固定切削元件两者)和滚轮型钻头,所述钻头不经历与PDC刮刀钻头相同的攻击性,并且在 $+10^{\circ}$ 的工具面波动下提供良好的工具面控制。

[0072] 图5B图示有效钻柱长度与攻击性与WOB的图形模型510。图形模型510利用与图5A的条501相同的标度来图示工具面严重性。其中,图形模型510图示钻井系统中的工具面偏转的原因中的一个-摩擦力可以使钻柱的部分相对于BHA扭转。钻柱的相对于BHA扭转的所述部分如同弹簧一样动作,并且所述扭转影响工具面控制。钻柱的相对于BHA扭转并且因此如同弹簧一样动作的所述部分的长度与工具面严重性成比例。

[0073] 图形模型510图示有效钻柱长度,即,钻柱的在扭矩施加于钻头时扭转的部分。模型化的BHA碰巧在钻孔的曲线部中。一旦施加足够扭矩以克服曲线部(所述曲线部长约500英尺(152m))中的所有摩擦,则整个垂直部分也能够容易地扭转。有效钻柱长度越短,工具面严重性越低并且工具面控制越好。

[0074] 图5C图示图5B中的图形模型510,其中曲线图的区域511周围的白色方框具有 <0.5 的攻击性。钻柱的充当弹簧的部分在这个钻柱中较短,并且这个曲线图指示非常好的工具面控制。

[0075] 图5D图示叠加在WOB与攻击性与钻头扭矩(扭矩可以假设为与ROP线性地成比例)曲线上的工具面严重性的图形模型520。所述曲线示出两个钻头的数据点521和522,每个数据点具有不同的WOB。两个钻头产生近似相同的瞬时扭矩和ROP。工具面严重性在具有较低 μ 值($\mu=0.86$)的钻头522上将低近似50%,并且因此预期利用这种钻头具有改进的工具面控制。因此,通过比较工具面严重性、ROP和WOB,可以在软件工具104的帮助下识别并且选择(通过用户或自动地)最优钻头。

[0076] 图5E图示根据本公开的一实施方案的用于钻井系统并且可以用于帮助优化钻井系统的布置的操作窗口的图形模型530。在图形模型530中,黑色区域包括低ROP区域533和“不良”工具面控制区域532。剩余的区域-操作窗口533是可接受的ROP和工具面控制的非限制性实例。“操作窗口”表示使用所选择的钻头的钻井操作。在一些实施方案中,设计选择可以基于将操作窗口最大化和/或识别理想的操作窗口。在其他实施方案中,与本文中所描述的模型相比,可以定义并且分析例如ROP和工具面严重性的设计选择阈值。

[0077] 参考图1至图5E所描述的各种实施方案可以实现为按需服务,例如,软件即服务(SAAS)、基于公共云的服务和基于私人云的服务,在下文中被称为“托管服务”。这种托管服务可以在一个或多个计算机服务器上实现。一个或多个终端可以经由网络(诸如图6中图示的通信网络620)连接到所述托管服务。作为非限制性实例,终端可以是个人计算机、服务器、膝上计算机、平板计算机、移动电话或类似装置。在一个实施方案中,对托管服务的访问可以经由网页浏览器来提供。托管服务可以被配置成接收与一个或多个服务相关的参数,执行所述服务,然后产生一个或多个结果。

[0078] 图6图示根据本公开的一实施方案的托管服务系统600。托管服务系统600可以包括托管服务供应商610、通信网络620和一个或多个客户端630。托管服务系统600可以包括服务管理器614、建模引擎611、分析引擎612和构建引擎613。建模引擎611、分析引擎612和构建引擎613被配置成以与参考图1所描述的建模引擎101、分析引擎102和构建引擎103一致的方式来操作。在各种实施方案中,服务管理器614被配置成管理服务请求,接收关于服

务请求的参数和模型,并且提供与服务请求相关的结果。

[0079] 图7图示根据本公开的一实施方案的托管服务系统600的操作。在操作701中,在服务管理器614处接收对一个或多个服务的请求。在各种实施方案中,从位于远程终端(例如,工作站)的客户端630接收请求。服务管理器614接收用于所请求的服务中的每一个的一个或多个参数。在一些实施方案中,所述参数中的一些或全部可以包括在请求中,在其他实施方案中,服务管理器614可以请求所述参数中的一些或全部。作为非限制性实例,对于建模钻井系统的请求,所述参数可与特定钻头、BHA、钻柱、钻孔、材料等相关。作为另外的非限制性实例,对于优化钻井系统的请求,所述参数可与可用于优化的多个钻头、BHA、钻柱、钻孔选项和材料选项相关。除了参数之外,服务管理器614还可以被配置成接收钻井系统部件的模型。在各种实施方案中,所述请求可以与基于例如工具面严重性计算(诸如参考图4A和图4B所描述的那些计算)来建模钻井系统的行为或优化钻井系统的行为相关。

[0080] 服务管理器614在操作703中向模型引擎611、分析引擎612和构建引擎613中的一个或多个请求一个服务或多个服务。由服务管理器614产生的请求可以包括一个或多个参数和模型,包括例如从客户端630接收的那些参数和模型。

[0081] 服务管理器614在操作704中提供所请求的服务的结果。所述结果中的一个或多个可以提供到客户端630和/或提供到第三方系统(未示出)。

[0082] 上文参考图1至图7所描述的本公开的各种实施方案可以实现以促进经由通过应用程序调用的诸如图形用户界面的用户界面的用户互动。用户界面可以理解为意味着允许用户与计算机系统互动的任何硬件、软件或硬件与软件的组合。出于本论述的目的,用户界面将理解为包括一个或多个用户界面对象。用户界面对象可以包括显示区域、用户可激活区域和类似区域。

[0083] 显示区域是用户界面的向用户显示信息的区域。用户可激活区域是用户界面的允许用户相对于用户界面采取某一动作的区域,诸如按钮或选单。

[0084] 用户界面可以通过应用程序调用。当应用程序调用用户界面时,用户界面常常用于与用户互动的目的。然而,实际用户与用户界面互动并非必需的。出于本发明的目的,与用户界面的互动可以由实际用户执行也并非必需的。换句话说,可以预见用户界面可以具有与另一程序的互动,所述另一程序诸如使用模拟用户相对于用户界面的动作的宏编程语言陈述创建的程序。

[0085] 图8图示可结合根据本文所描述的本公开的各种实施方案执行的计算机辅助设计使用的图形用户界面(GUI)800、810和820。GUI 800、810和820中的每一个促进参数的输入,所述参数用于产生模型、执行参考图4A和图4B所描述的工具严重性分析和执行参考图5A至图5E所描述的计算机辅助分析和设计。在一个实施方案中,GUI 800、810和820中的每一个促进通过用户来输入值。在另一实施方案中,GUI 800、810和820中的每一个促进从对应于例如BHA、钻柱、钻头、井眼、钻孔、材料等的模型的数据文件导入值。在另外其他实施方案中,GUI 16800、810及820促进导入数据和直接地输入数据两者。

[0086] 图9图示根据本公开的一实施方案的用于在地下地层的定向钻井期间实时优化工具面控制的系统900。系统900包括钻井操作940、操作员站930、通信网络920和分析工具910。

[0087] 钻井操作940可以包括具有工具面942的钻井系统941、穿过地下地层的钻孔945和

钻架944。钻井操作940还可以包括电子设备943。电子设备943可以被配置成测量与钻井操作940和钻井系统941相关联的参数,包括与工具面定向、工具面偏转和ROP有关的一个或多个参数。电子设备943的实施方案可以被配置成测量与钻井操作940和钻井系统940相关联的其他参数,包括钻头、BHA和钻柱处的扭矩和相对扭矩。电子设备943的各种实施方案可以被配置成将测量结果中的一个或多个传达到分析工具910和操作员站930。

[0088] 分析工具910可以被配置用于参考图1和图3、图4A和图4B的计算机系统100所描述的建模、分析和构建功能性,包括确定工具面严重性并且优化钻井系统941的工具面控制。分析工具910被配置成接收关于钻井操作940(包括来自电子设备943的)和操作员站930的测量数据和其他信息。分析工具910还被配置成建模并且分析钻井系统941的工具面控制,并且生成一个或多个装配选项。在一个实施方案中,分析工具910具有可用于钻井系统941的可用部件(包括钻头、BHA和钻柱)的一个或多个模型和参数。由分析工具910执行的分析可以在操作员站930处被自动地或手动地开始。在一个实施方案中,分析工具910被配置成在从电子设备943接收的一个或多个测量结果指示钻井系统941未在可接受参数内操作的情况下,产生并且提供优化工具面控制的设计选项。

[0089] 操作员站930的实施方案可以包括用于钻井操作930(包括用于钻井系统941)的控制设备(未示出)。操作员站930可以包括各种监测装备(未示出),所述监测装备被配置成与包括电子设备943和分析工具910的一个或多个外部装置通信,并且显示与钻井操作940有关的信息,包括基于从电子设备943和分析工具910接收的信息的信息。在一个实施方案中,所显示的信息包括与工具面942的工具面控制有关的信息。如果在操作员站930处接收到用于钻井系统941的新设计选项,则可以评审该选项,并且根据所述新设计,作出关于是否停止钻井操作940并且装配不同的钻井系统941的判定。如果做出所述判定,则停止钻井操作940,基于通过分析工具910提供的设计来装配不同的钻井系统941,安装所述不同的钻井系统941,并且重新开始钻井操作940。如此,可以使用针对钻井操作实时地优化工具面控制的钻井系统。

[0090] 尽管通过或结合图3、图4A、图4B和图7图示了每个操作,并且所附文字叙述以特定次序执行的动作,但是本公开的实施方案未必需要以所叙述的次序操作。所属领域的普通技术人员可认识到许多变化,包括并行地或以不同次序执行动作。

[0091] 上文所描述并且在随附图图中图示的本公开的实施方案并不限制本发明的范围,这是因为这些实施方案只是本公开的实施方案的实例。本发明将由所附的权利要求及其合法等同物涵盖。任何等同的实施方案在本公开的范围内。实际上,除了本文所示和所描述的那些,根据所述描述,本公开的各种修改(诸如所描述的元件的其他组合和修改)对于所属领域的普通技术人员来说将是显而易见的。这些实施方案、组合和修改也落在所附权利要求书及其合法等同物的范围内。

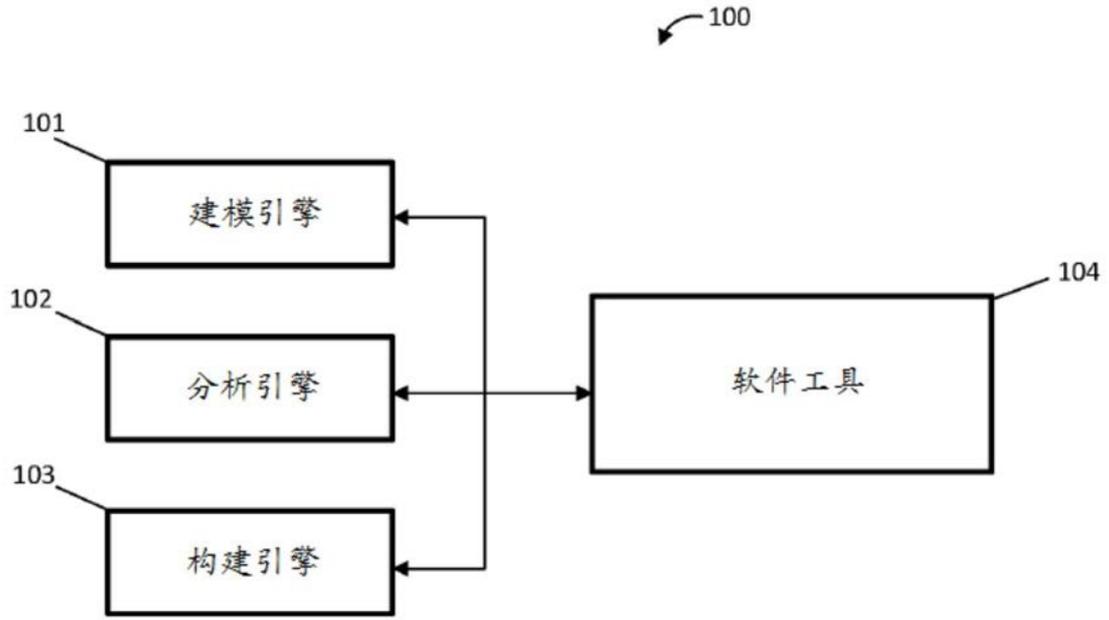


图1

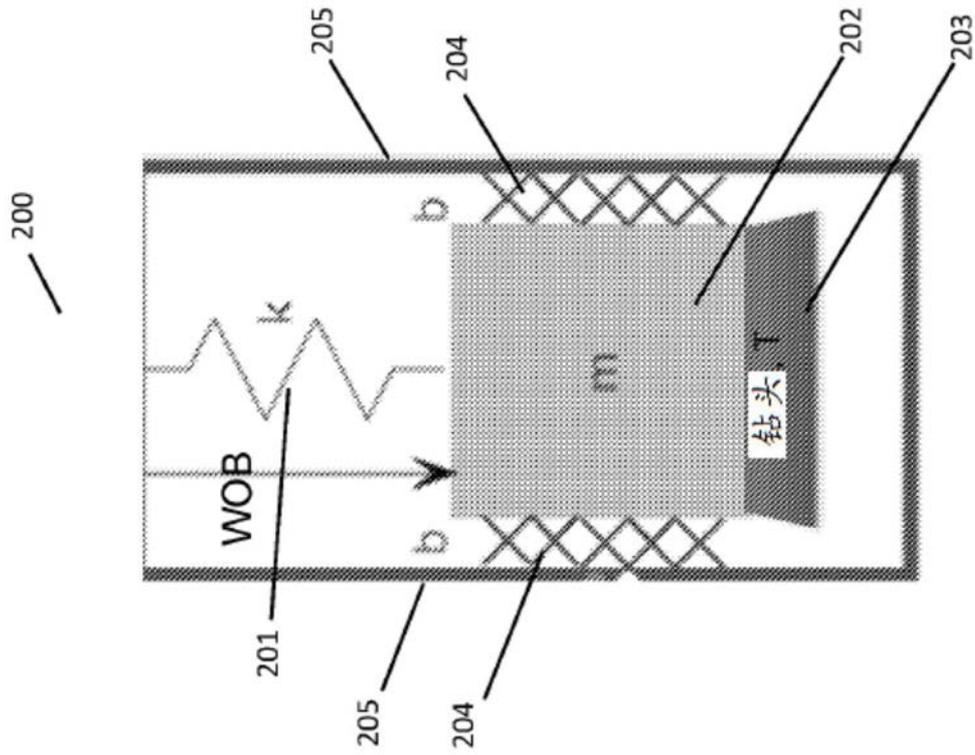


图2A

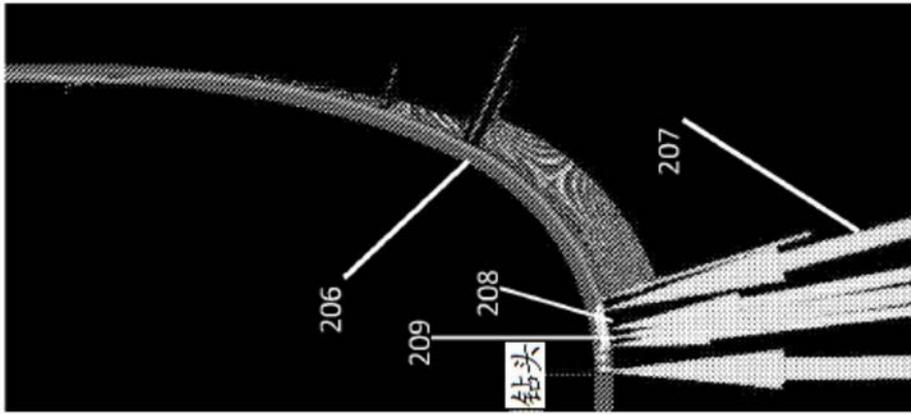


图2B

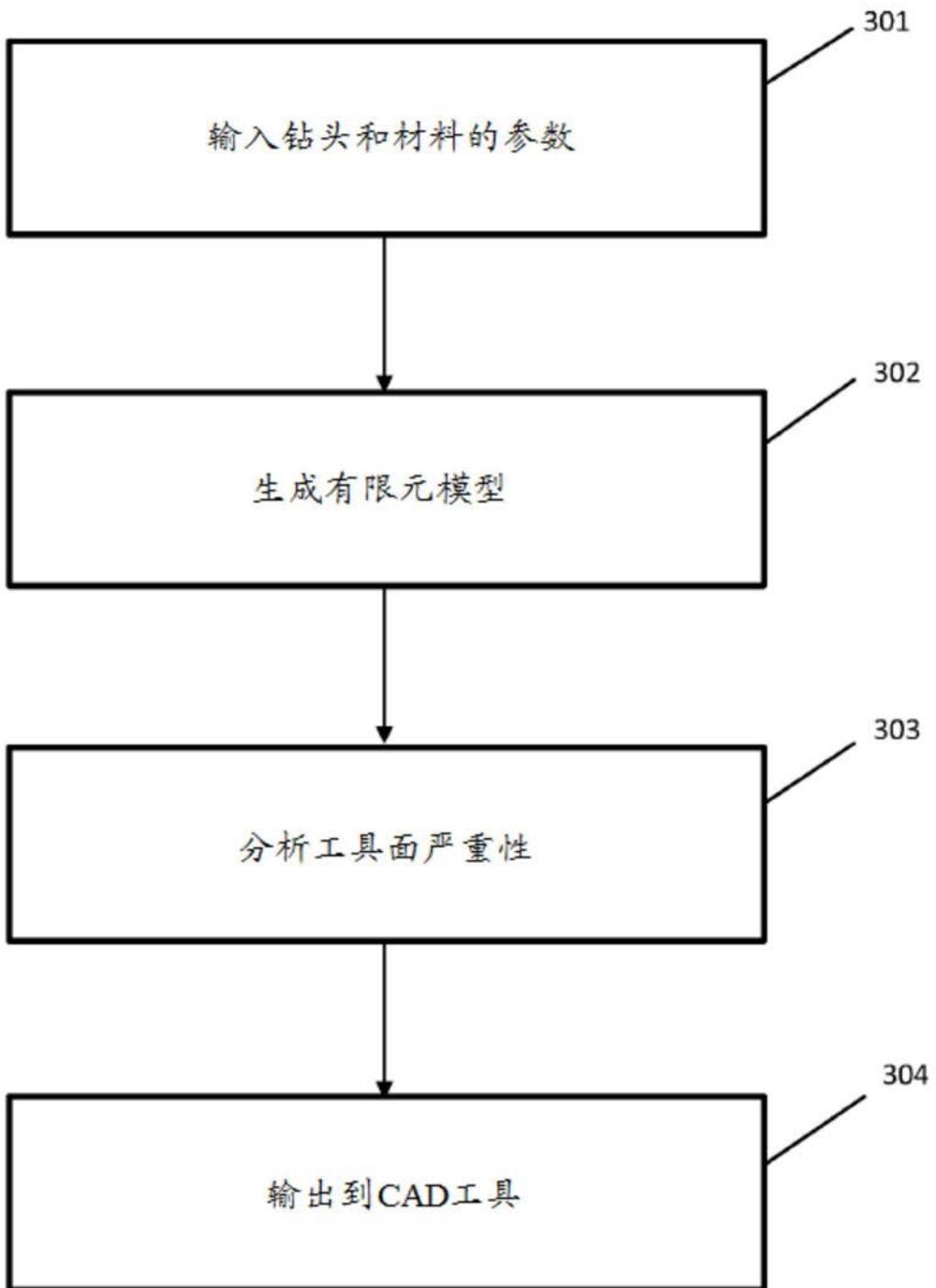


图3

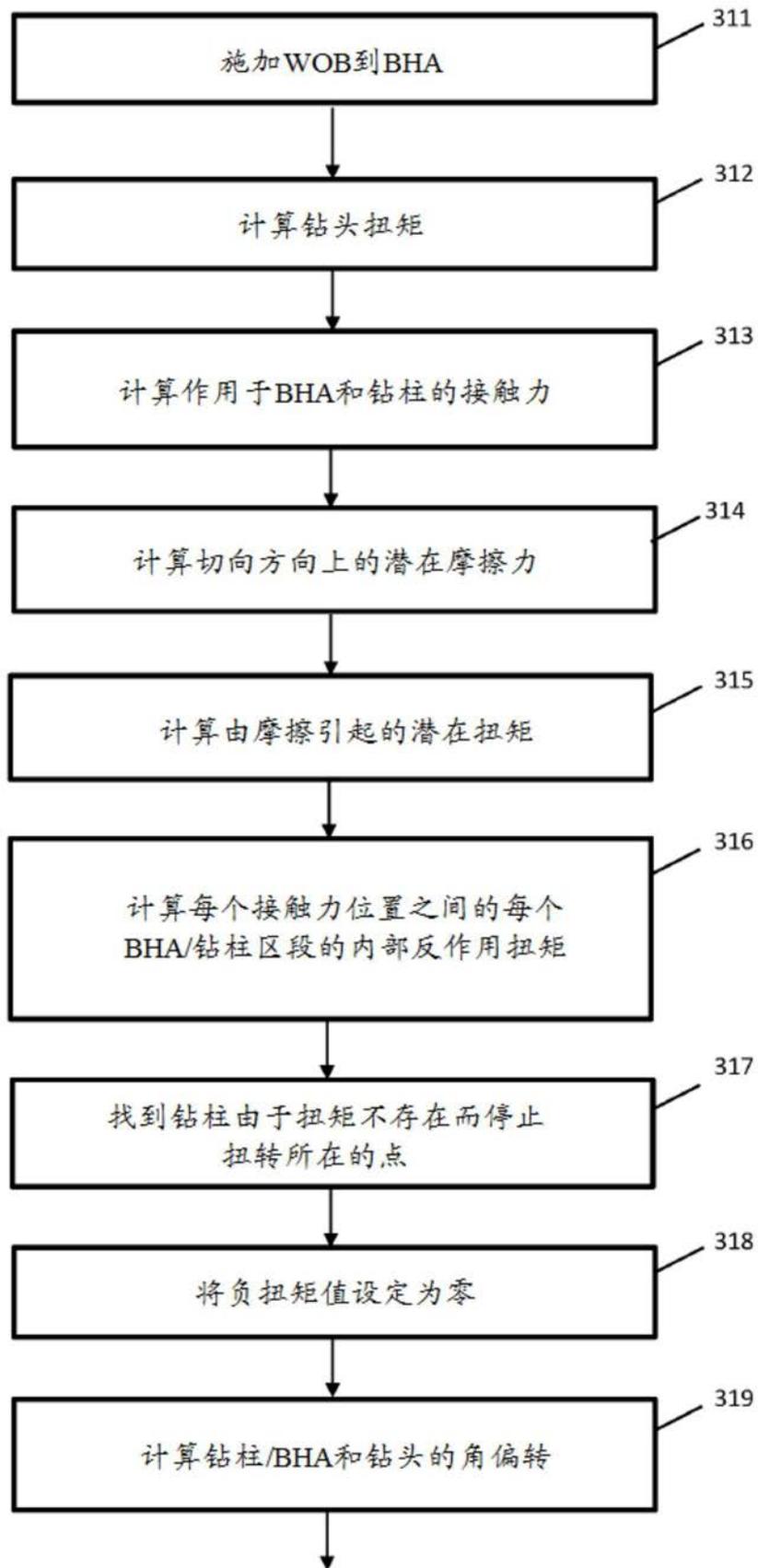


图4A

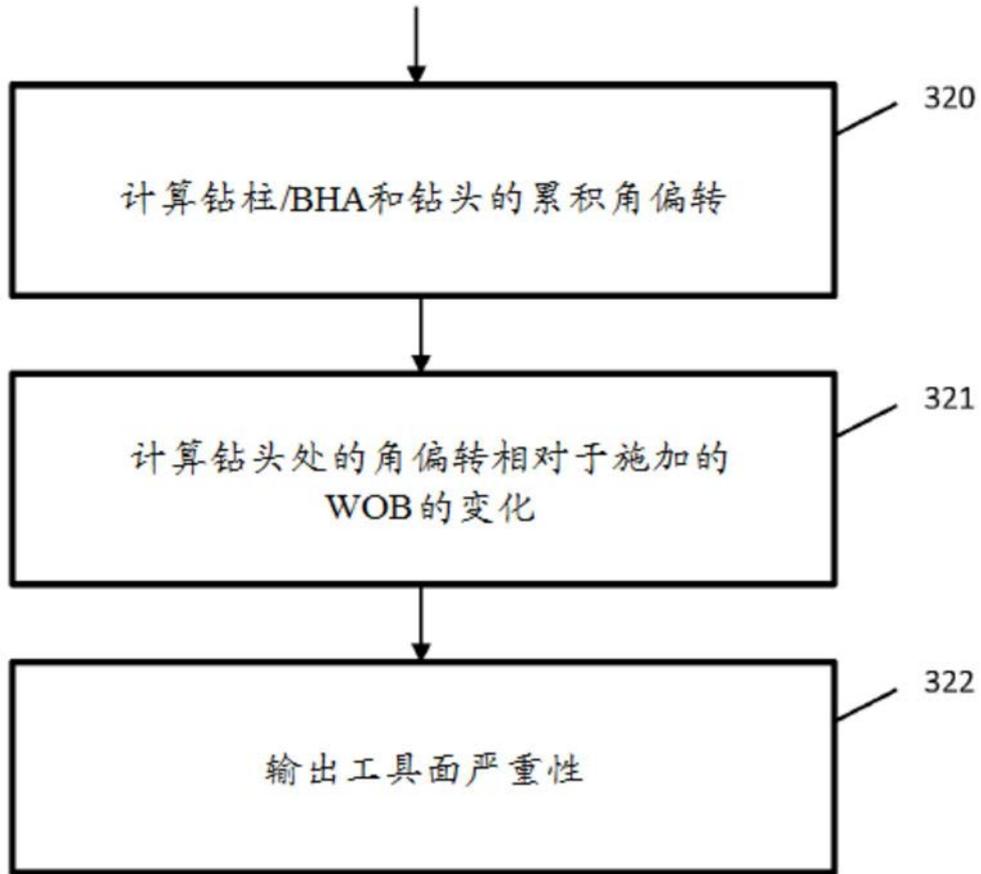


图4B

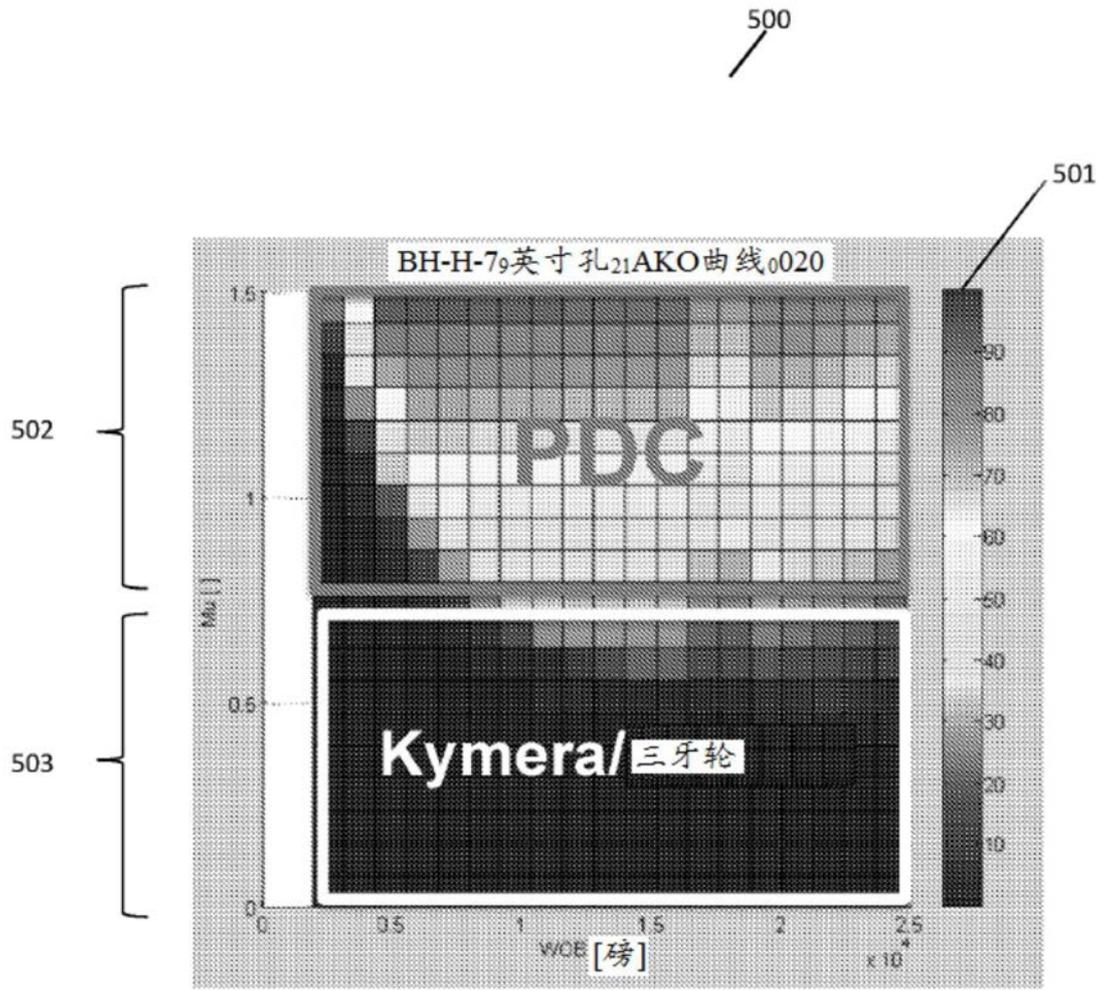


图5A

510

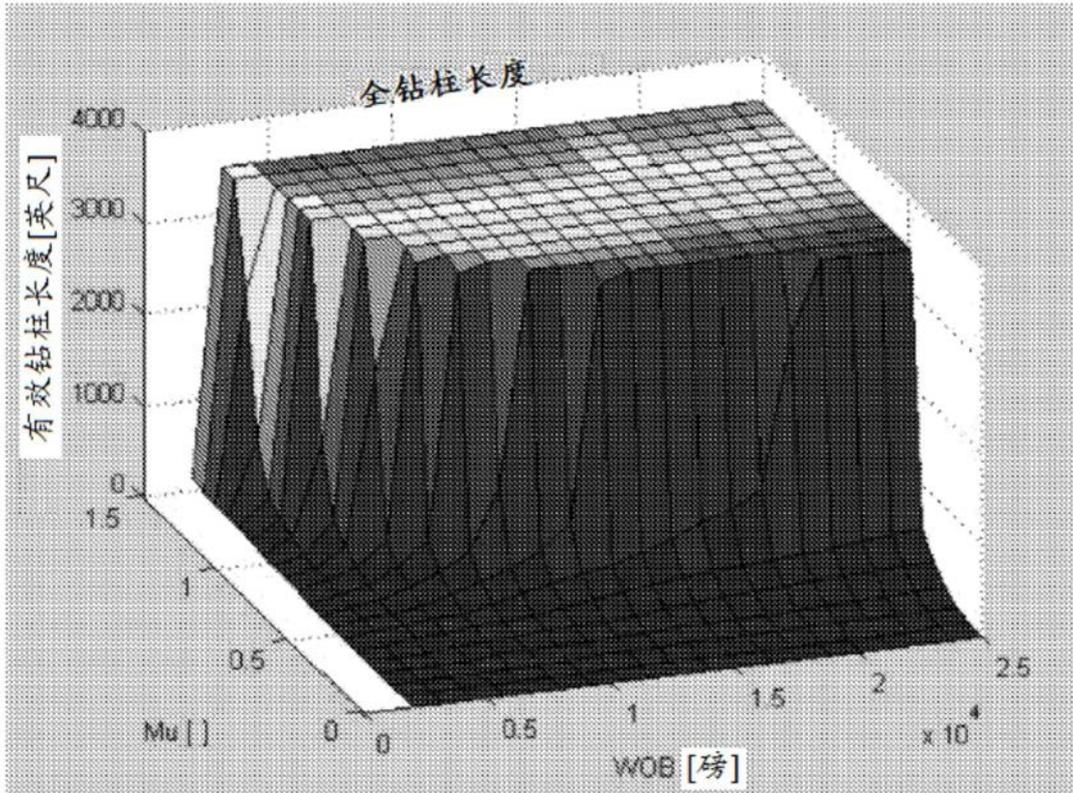


图5B

510

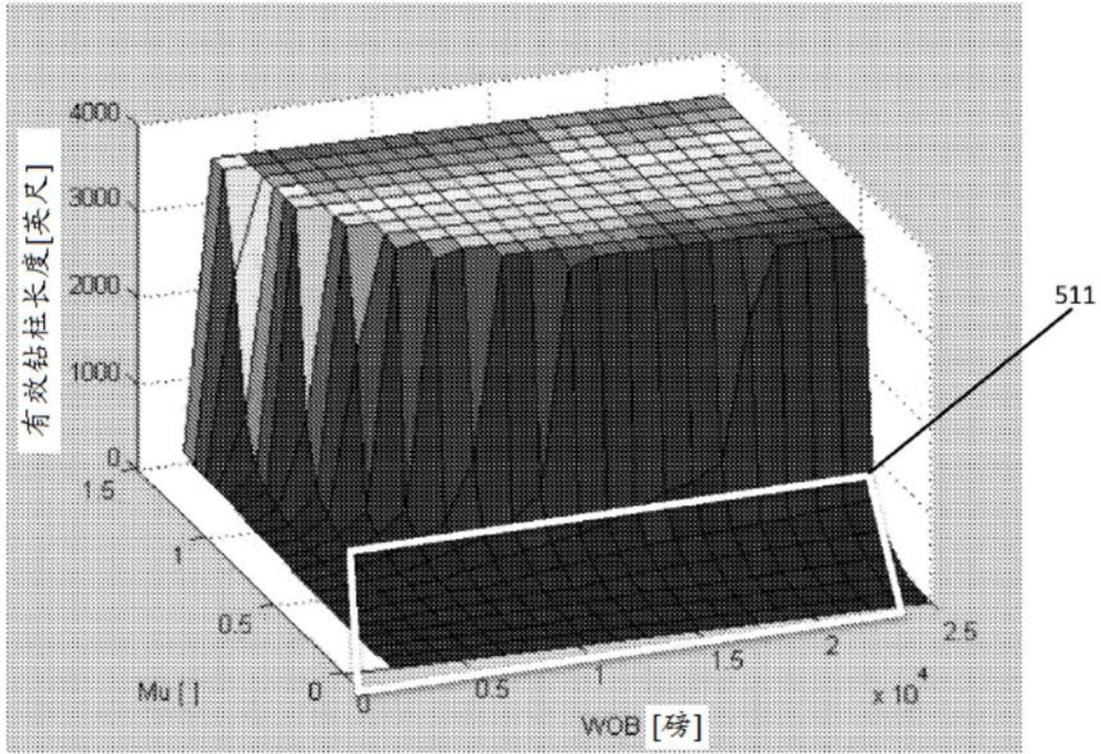


图5C

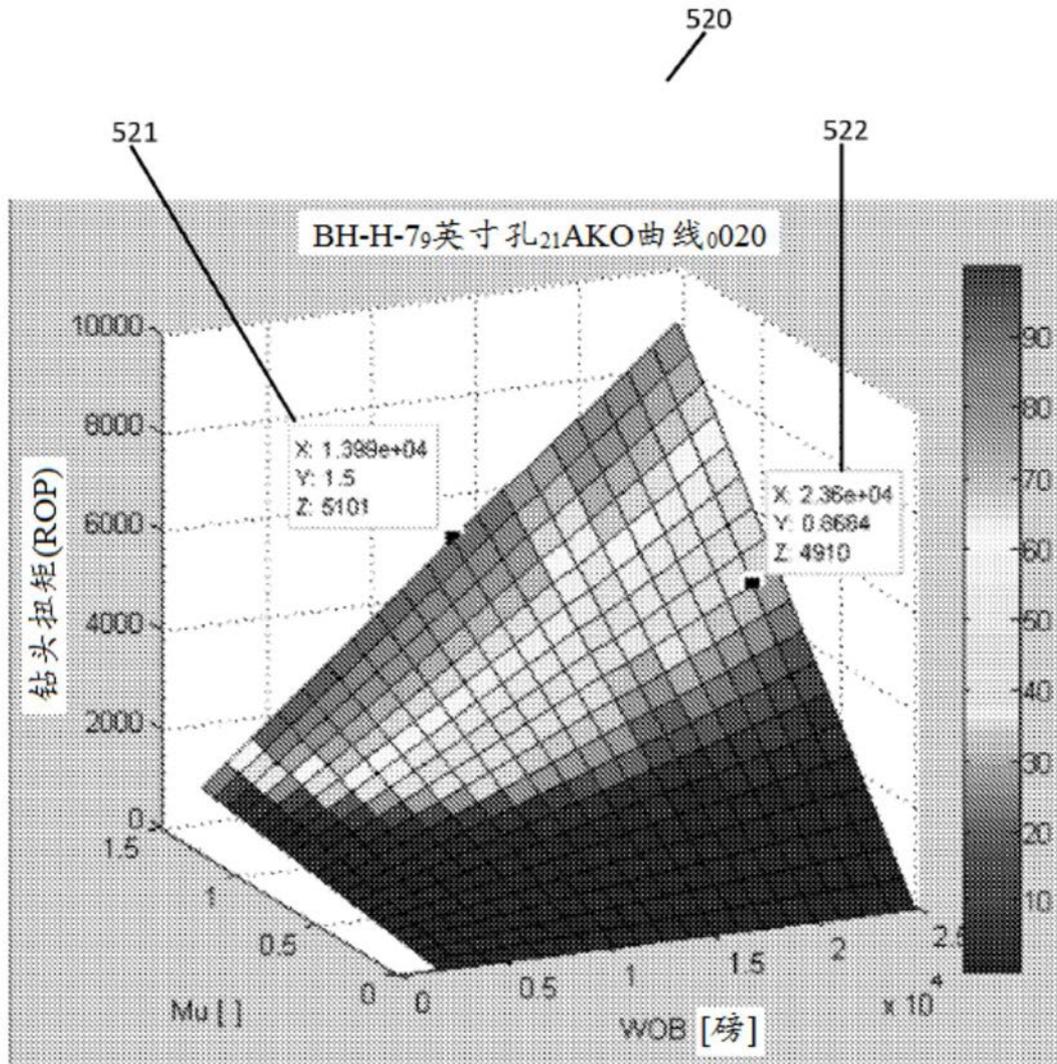


图5D

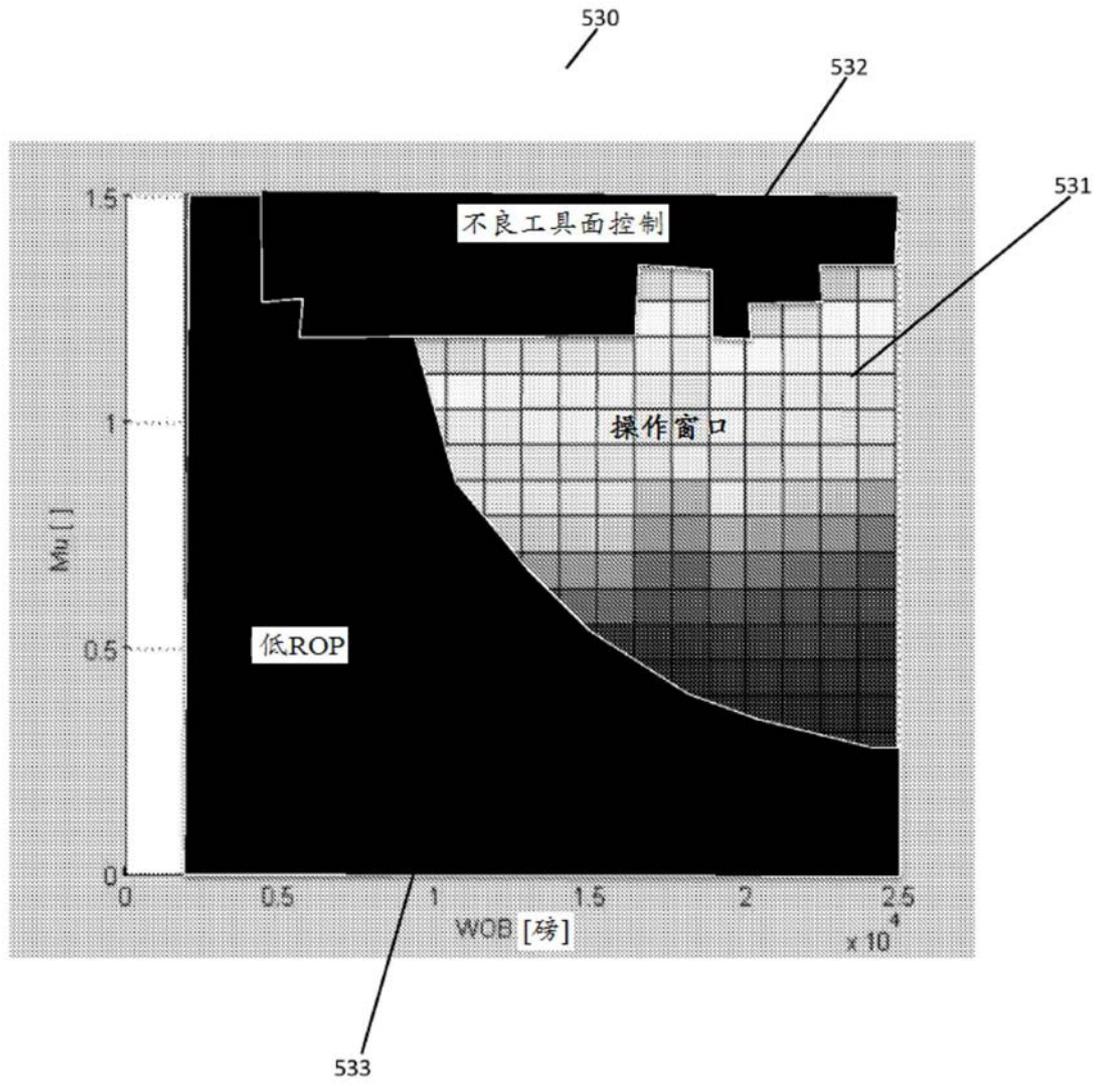


图5E

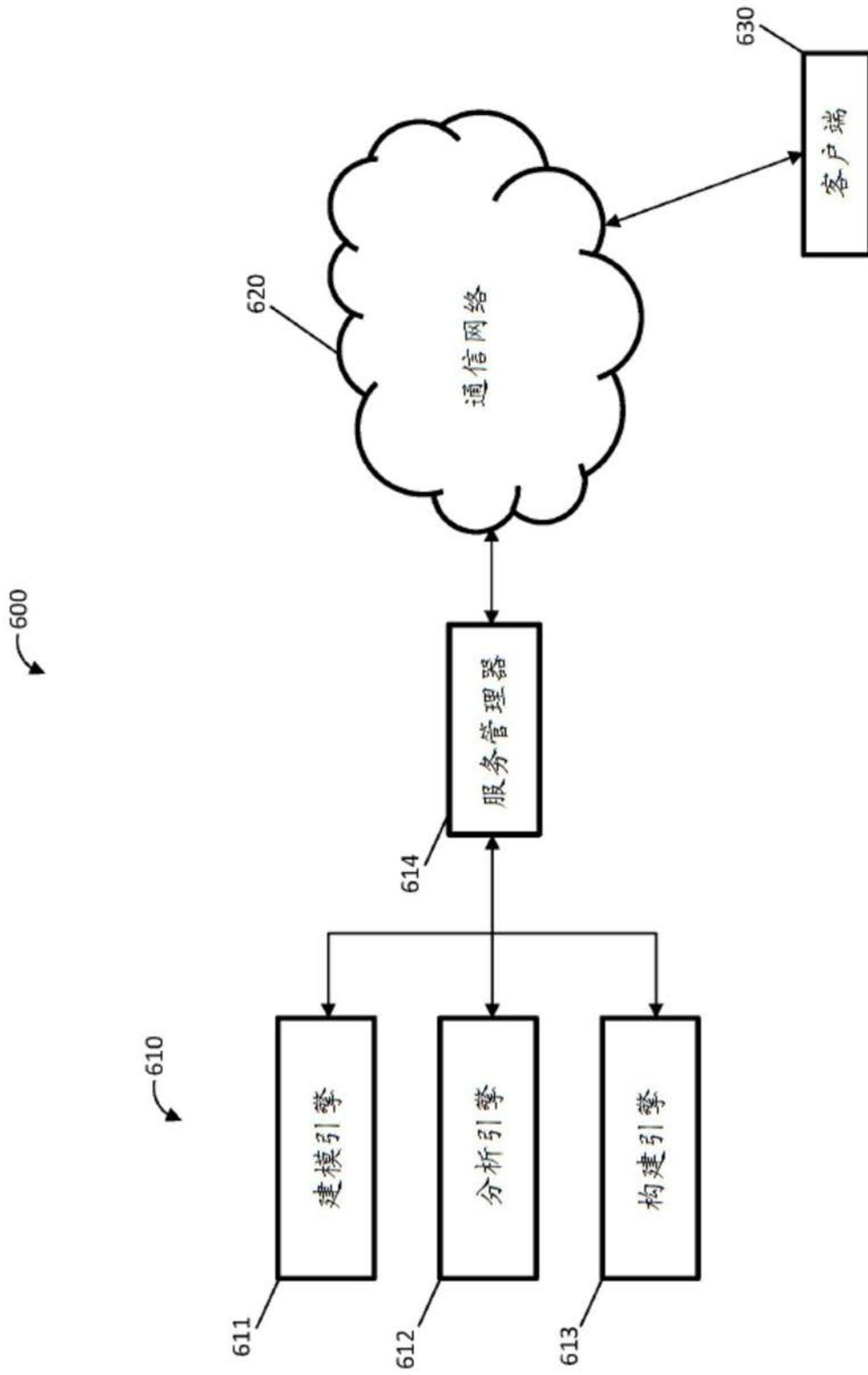


图6

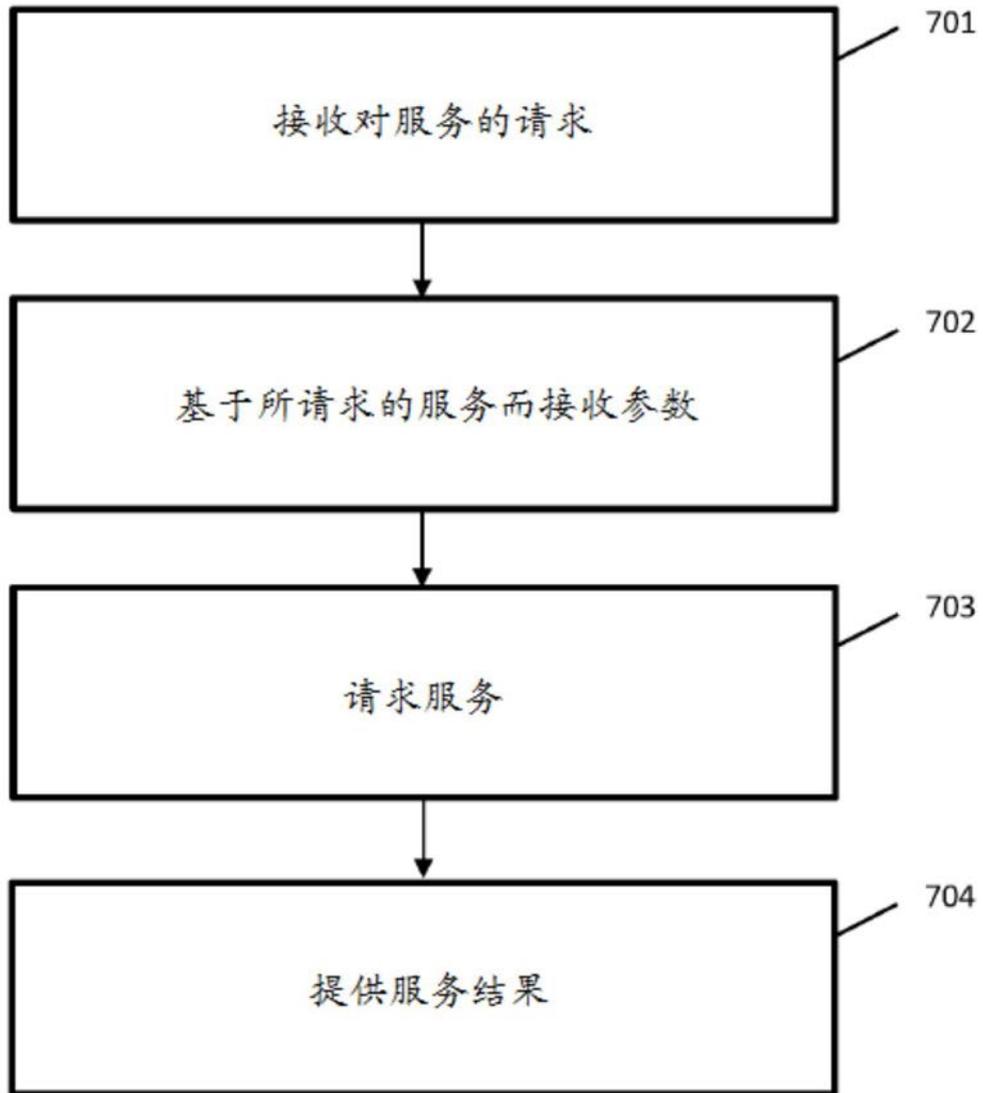


图7

800

输入/测量

行	深度 英尺	距离 英尺	长度 英尺	直径 英寸	倾角	方位角	18.5 V180英尺	构建速率 V180英尺	前进速率 V180英尺	摩擦 系数	刚度 千磅力/英寸	注释
1	0.00	4.5000	2.0040	8.930	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	5.71e04	
2	2.0640	2.4320	1.00	8.930	1.07	176.14	3.8	-2.5	-50.2	0.0000	5.71e04	
3	2.0650	2.4350	1.00	8.930	1.04	175.24	4.2	-3.3	-41.5	0.0000	5.71e04	
4	2.0980	2.4340	1.00	8.930	1.00	175.65	7.1	5.4	-94.8	0.0000	5.71e04	
5	2.0670	2.4330	1.00	8.930	1.07	176.05	4.1	-2.5	-50.2	0.0000	5.71e04	
6	2.0680	2.4320	1.00	8.930	1.04	175.57	9.2	-7.3	-141.1	0.0000	5.71e04	
7	2.0890	2.4310	1.00	8.930	1.70	177.06	7.5	-4.8	-108.7	0.0000	5.71e04	
8	2.0700	2.4300	1.00	8.930	1.71	178.17	5.5	4.1	-97.5	0.0000	5.71e04	
9	2.0710	2.4290	1.00	8.930	1.70	178.20	10.5	8.8	-162.0	0.0000	5.71e04	
10	2.0720	2.4280	1.00	8.930	1.68	178.72	4.8	-1.7	-126.7	0.0000	5.71e04	
11	2.0730	2.4270	1.00	8.930	1.63	178.58	3.8	2.4	-112.3	0.0000	5.71e04	
12	2.0740	2.4260	1.00	8.930	1.65	179.71	6.8	-4.8	-85.8	0.0000	5.71e04	
13	2.0750	2.4250	1.00	8.930	1.78	179.37	8.0	-7.3	-117.4	0.0000	5.71e04	
14	2.0760	2.4240	1.00	8.930	1.87	177.50	4.8	-4.8	-71.6	0.0000	5.71e04	

确定 取消 应用 帮助 提示 导出测量

810

输入/钻柱 结果几何

行	名称	长度 英尺	距离 英尺	OD 英寸	保径OD 英寸	弯矩 千磅力/英尺	极限 滑动 千磅力/英尺	底部连接器 类型	顶部连接器 类型	注释
1	钻头	1.00	1.00	8.930	2.200	8.700	7.100			
2	2.5" Ultra-Kerosene ext. stab. BHA	23.11	24.11	6.750	1.211	8.825	22.000			
3	1.5" 止动短节	1.54	25.65	6.750	2.200	8.785	27.150			底部或顶部止动短节
4	2.5" 10' 1/2" 1/2"	7.68	33.33	7.275	1.764	7.276	98.880			
5	1.5" 10' 1/2" 1/2"	10.82	44.15	7.262	2.188	7.282	38.800			底部或顶部止动短节
6	1.5" 止动短节	1.84	45.99	6.750	2.200	6.750	22.150			
7	2.5" 10' 1/2" 1/2" 1/2"	31.03	77.02	6.625	3.008	6.628	24.150			
8	2.5" 10' 1/2" 1/2" 1/2"	31.03	108.05	6.625	3.008	6.628	24.150			
9	1.5" 管	2.660	110.71	3.600	1.500	3.600	11.000			

确定 取消 应用 帮助 提示 钻头 深度 4.0000 英尺定向 0.000 部件

820

计算/可变参数结果

静态结果
 自然频率结果
 强迫振动结果

运行	参数	最小值	最大值	步进	增量	单位	注释
1	轴向力	8.800	25.000	20		1.32 kbf	

在计算后保存文档(推荐长计算使用)

确定 取消 帮助 提示

图8

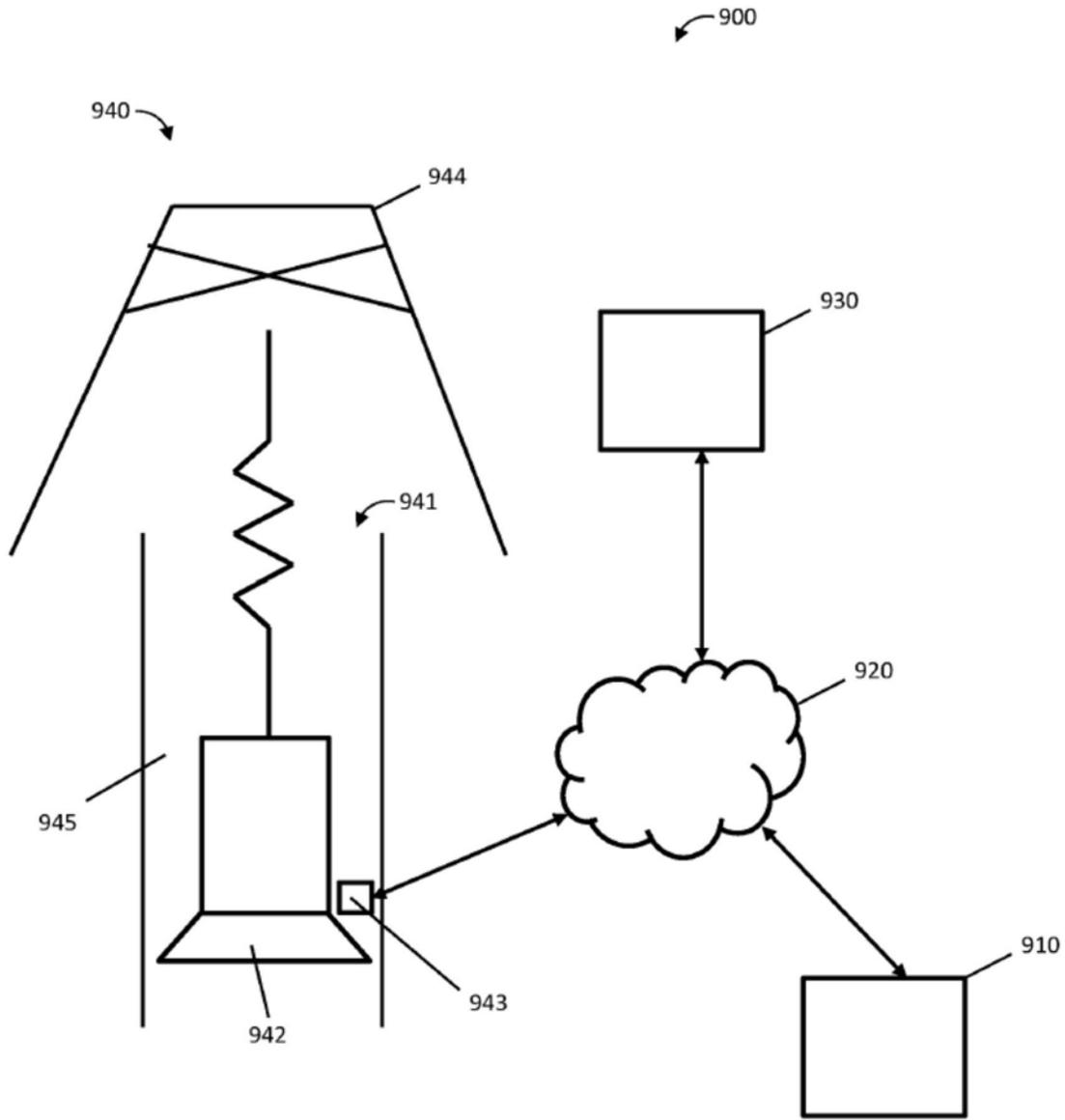


图9