



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106164708 B

(45)授权公告日 2019.07.23

(21)申请号 201380080294.7

(22)申请日 2013.10.18

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106164708 A

(43)申请公布日 2016.11.23

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.04.15

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/RU2013/000922 2013.10.18

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/057099 EN 2015.04.23

(73)专利权人 贝克休斯公司
地址 美国得克萨斯

(72)发明人 Y·A·达舍夫斯基
S·A·特伦蒂芙
V·N·杜洛夫斯基 V·杜宾斯基

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038

代理人 马景辉

(51)Int.Cl.

G01V 11/00(2006.01)

E21B 47/09(2012.01)

E21B 47/12(2012.01)

(56)对比文件

US 2009/0152005 A1, 2009.06.18, 说明书
第0027-0097段, 附图1-10.

US 2009/0152005 A1, 2009.06.18, 说明书
第0027-0097段, 附图1-10.

EP 1193366 A2, 2002.04.03, 说明书第
0001、0013-0018、0022段.

US 4742402 A, 1988.05.03,

CN 102011582 A, 2011.04.13,

CN 85205092 U, 1986.09.17,

US 2005/0132794 A1, 2005.06.23,

WO 2012/015421 A1, 2012.02.02,

审查员 葛栩宏

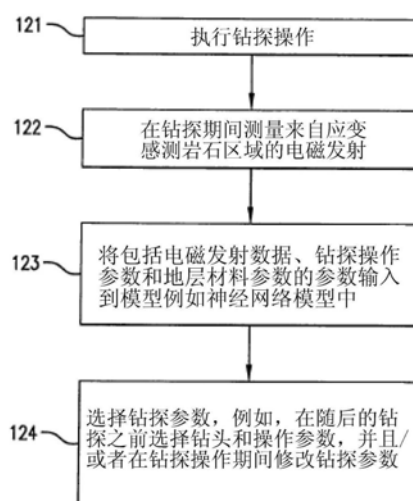
(54)发明名称

基于钻探期间的电磁发射预测可钻性

(57)摘要

一种预测钻探组件性能的方法的一个实施例包括: 获取由于钻探组件在钻探操作期间对地层材料的破坏而发射的电磁(EM)辐射的测量值; 选择输入参数, 输入参数包括钻探组件参数、操作参数和EM辐射的测量值; 将输入参数应用到数学可钻性模型; 并且使用可钻性模型和输入参数生成岩石可钻性参数, 岩石可钻性参数提供钻探性能的指示。

120



1. 一种预测钻探组件性能的方法,其包括:

获取由于钻探组件在钻探操作期间对地层材料的破坏而发射的电磁发射EME和由所述EME引起的感应电流的测量值,所述感应电流指示所述地层材料的类型;

选择输入参数,所述输入参数包括钻探组件参数、操作参数以及所述EME和所述感应电流的所述测量值;

将所述输入参数应用到数学可钻性模型;

使用所述可钻性模型和所述输入参数生成岩石可钻性参数,所述岩石可钻性参数提供钻探性能的指示;以及

利用钻探期间的所述EME的所述测量值来经由所述可钻性模型估计或预测粉碎岩石所消耗的能量,该量能够用作可钻性的指标。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述数学可钻性模型为神经网络模型。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述EME的发射是由于所述钻探组件的钻头下方区域中的裂隙形成和岩石粉碎的结果。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述操作参数包括选定的穿透率ROP,并且所述可钻性参数包括对作为所述ROP的函数的随着时间推移发生的钻头磨损的预测。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中选择所述输入参数用于随后的钻探操作,并且所述可钻性参数基于用于所述随后的钻探操作的所述输入参数以及在所述钻探操作期间获取的所述EME的所述测量值而生成。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述操作参数由至少一个表面控制单元提供,所述至少一个表面控制单元被配置成执行监测和控制所述钻探操作的所述操作参数中的至少一个。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中应用所述操作参数和所述EME的所述测量值,并且在所述钻探操作期间实时生成所述岩石可钻性参数。

8. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括基于所述可钻性模型选择用于所述钻探操作和随后的钻探操作中的至少一个的操作条件。

9. 一种用于预测钻探组件性能的系统,所述系统包括:

钻探组件,其包括连接到钻柱的钻头,所述钻探组件被配置成设置在钻孔中并且执行钻探操作;

传感器设备,其与所述钻探组件可操作地相关联,所述传感器被配置成测量由于所述钻头在所述钻探操作期间对地层材料的破坏而发射的电磁发射EME和由所述EME引起的感应电流,并获取所述EME和所述感应电流的测量值,所述感应电流指示所述地层材料的类型;以及

处理器,其与多个传感器通信,所述处理器被配置成:

将输入参数应用到数学可钻性模型,所述输入参数包括钻探组件参数、操作参数以及所述EME和所述感应电流的测量值;

使用所述可钻性模型和所述输入参数生成岩石可钻性参数,所述岩石可钻性参数提供钻探性能的指示;

使用提供钻探性能指示的所述岩石可钻性参数生成岩石可钻性参数;以及

利用钻探期间的所述EME的所述测量值来经由所述可钻性模型估计或预测粉碎岩石所

消耗的能量,该量能够用作可钻性的指标。

10. 根据权利要求9所述的系统,其中所述数学可钻性模型为神经网络模型。

11. 根据权利要求9所述的系统,其中所述处理器被配置成从井下处理单元接收所述EME的所述测量值,从表面控制单元至少接收所述操作参数,以及将所述岩石可钻性参数提供给所述表面控制单元。

12. 根据权利要求11所述的系统,其中所述表面控制单元被配置成基于所述岩石可钻性参数实时调节所述钻探操作的操作条件。

13. 根据权利要求9所述的系统,其中所述传感器设备包括第一传感器、第二传感器和第三传感器,所述第一传感器被配置成测量所述EME的低频分量,所述第二传感器被配置成测量所述EME的中频分量,所述第三传感器被配置成测量所述EME的高频分量。

14. 根据权利要求9所述的系统,其中所述传感器设备包括传感器,所述传感器被配置成测量钻探期间在所述钻探组件与所述钻头下方的区域之间的闭合电路中流动的电流。

15. 根据权利要求9所述的系统,其中所述操作参数包括选定的穿透率ROP,并且所述可钻性参数包括对作为所述ROP的函数的随着时间推移发生的钻头磨损的预测。

16. 一种用于预测钻探组件性能的计算机程序产品,所述计算机程序产品包括由处理电路可读的有形存储介质和由所述处理电路执行的存储指令,用于执行包括以下步骤的方法:

获取由于钻探组件在钻探操作期间对地层材料的破坏而发射的电磁发射EME和由所述EME引起的感应电流的测量值,所述感应电流指示所述地层材料的类型;

选择输入参数,所述输入参数包括钻探组件参数、操作参数以及所述EME和所述感应电流的所述测量值;

将所述输入参数应用到数学可钻性模型;

使用所述可钻性模型和所述输入参数生成岩石可钻性参数,所述岩石可钻性参数提供钻探性能的指示;以及

利用钻探期间的所述EME的所述测量值来经由所述可钻性模型估计或预测粉碎岩石所消耗的能量,该量能够用作可钻性的指标。

17. 根据权利要求16所述的计算机程序产品,其中所述数学可钻性模型为神经网络模型。

18. 根据权利要求16所述的计算机程序产品,其中所述操作参数由至少一个表面控制单元提供,所述至少一个表面控制单元被配置成执行监测和控制所述钻探操作的所述操作参数中的至少一个。

19. 根据权利要求18所述的计算机程序产品,其中应用所述操作参数和所述EME的所述测量值,并且在所述钻探操作期间实时生成所述岩石可钻性参数。

20. 根据权利要求16所述的计算机程序产品,其进一步包括基于所述可钻性模型选择用于所述钻探操作和随后的钻探操作中的至少一个的操作条件。

基于钻探期间的电磁发射预测可钻性

技术领域

[0001] 本公开涉及用于预测钻探组件性能的方法、系统和计算机程序产品。

背景技术

[0002] 钻探油气井的成本通常很高。所以，人们期望通过例如减少到达井的目标深度所需的钻探时间量来提高钻探效率。优化钻探参数诸如钻头的选择和操作条件可显著地减少所需的钻探时间。

发明内容

[0003] 一种预测钻探组件性能的方法的一个实施例包括：获取由于钻探组件在钻探操作期间对地层材料的破坏而发射的电磁 (EM) 辐射的测量；选择输入参数，输入参数包括钻探组件参数、操作参数和 EM 辐射的测量值；将输入参数应用到数学可钻性模型；并且使用可钻性模型和输入参数生成岩石可钻性参数，岩石可钻性参数提供钻探性能的指示。

[0004] 一种用于预测钻探组件性能的系统的实施例包括：钻探组件，其包括连接到钻柱的钻头，该钻探组件被配置成设置在钻孔中并且执行钻探操作；传感器设备，其与钻探组件可操作地相关联，该传感器被配置成测量由于钻头在钻探操作期间对地层材料的破坏而发射的电磁 (EM) 辐射；以及处理器，其与多个传感器通信。处理器被配置成：将输入参数应用到数学可钻性模型，输入参数包括钻探组件参数、操作参数和 EM 辐射的测量值；并且使用可钻性模型和输入参数生成岩石可钻性参数，岩石可钻性参数提供钻探性能的指示。

[0005] 一种用于预测钻探组件性能的计算机程序产品的实施例包括：由处理电路可读的有形存储介质和由该处理电路执行的存储指令，用于执行包括以下步骤的方法：获取由于钻探组件在钻探操作期间对地层材料的破坏而发射的电磁 (EM) 辐射的测量值；选择输入参数，输入参数包括钻探组件参数、操作参数和 EM 辐射的测量值；将输入参数应用到数学可钻性模型；并且使用可钻性模型和输入参数生成岩石可钻性参数，岩石可钻性参数提供钻探性能的指示。

附图说明

[0006] 在本说明书结束部分的权利要求中，具体指出并且清楚地要求了被认为是本发明的主题。从结合附图进行的以下详细描述中，本发明的前述特征和其他特征以及优点显而易见，在附图中相同的元件编号相同，其中：

[0007] 图1是钻探系统的示例性实施例，该钻探系统包括设置在地球地层中的钻孔内的钻柱；

[0008] 图2是钻头组件的示例性实施例的透视图，该钻头组件包括用于在钻探期间测量发射出的电磁辐射的一个或多个传感器；

[0009] 图3是钻探期间形成的在钻头下面的地层区域的各种特征的图示；

[0010] 图4是表示岩石类型或地层类型与钻探期间测量的电流之间关系的数据的示例；

- [0011] 图5显示在钻探过程期间感应的电流测量的示例性现场结果；
- [0012] 图6是用于使用神经网络模型生成可钻性预测的处理系统的实施例的方框图；以及
- [0013] 图7是表示预测和/或模拟钻探操作的可钻性参数的方法的实施例的流程图。

具体实施方式

[0014] 本发明公开了用于在钻探操作期间基于电磁发射 (EME) 的测量预测岩石可钻性的系统、装置和方法。一个实施例包括用于在钻探时获得发射的EME测量值的装置 (例如, 井底钻具组件或钻头组件), 其包括用于在钻探期间测量EM辐射的不同频率以及由岩石破坏感应的电流的传感器。一个实施例包括岩石可钻性的预测数学模型, 其基于输入参数诸如地层参数、钻探组件参数、操作参数和测得的EME数据计算可钻性参数 (例如, 相对于穿透率的钻头磨损)。示例性模型为被配置成基于包括EME 测量值的输入参数执行可钻性预测的神经网络模型。包括在钻探操作期间所获得的EME测量值的输入参数可被测量并且处理以用于以后的钻探操作, 或被实时处理以在钻探期间提供可钻孔性预测。

[0015] 参照图1, 其示出井下钻探系统10的示例性实施例, 井下钻探系统10的部件设置在钻孔12中。钻柱14设置在钻孔12中, 其穿透至少一个地球地层16。钻柱14由例如管或多个管段组成。系统10和/或钻柱 14包括钻探组件18。可将各种测量工具诸如随钻测井 (LWD) 应用程序并入系统10以影响测量方式。

[0016] 可被配置为井底钻具组件 (BHA) 的钻探组件18包括钻头20, 钻头20经由钻探组件主体22附接到钻柱14的下端。钻探组件18被配置成从钻机24运送到钻孔12中。钻探组件18包括向钻头20提供结构支持和操作支持的各种部件, 诸如钻探马达26 (也被称为泥浆马达) 和稳定器或扩孔器28。

[0017] 在一个实施例中, 钻头20和/或钻探组件18包括一个或多个传感器30和用于估计与钻探组件18有关的一个或多个参数的相关电路系统。传感器30在钻探期间执行与钻探组件、钻孔和/或地层相关联的测量。例如, 传感器30包括被配置成在对钻孔12进行钻探时测量由地层材料的破坏而发射的电磁 (EM) 辐射的传感器。另外, 传感器可被配置成测量钻探参数诸如旋转、振动、加速度、速度、距离、角度、力、力矩和压力。可测量的其他参数包括环境参数诸如温度和压力, 以及地层参数诸如电阻率和孔隙率。在一个实施例中, 传感器30耦合到井下电子单元32, 井下电子单元32可接收来自传感器30的数据并且将该数据发送到处理系统诸如处理单元34, 并且/或者处理井下数据。可使用各种技术将数据发送到电子单元32和表面处理单元34, 诸如泥浆脉冲、电磁、声学遥测或者有线管。

[0018] 表面处理单元34与钻探组件18可操作地通信连接, 并且可位于例如表面位置、海底位置和/或海上钻井平台或海上船舶上的表面位置处。表面处理单元34被配置成执行功能, 诸如控制钻探组件18、发送并且接收数据、处理测量数据、监测钻探组件18以及使用数学模型执行模拟或预测。在一个实施例中, 表面处理单元34包括处理器36, 用于存储数据、模型和/或计算机程序的存储设备 (或计算机可读介质) 38或者软件40。

[0019] 在一个实施例中, 传感器30被配置成在钻探操作期间测量由于地层材料或岩石上的机械应力而产生的电磁发射 (EME)。可利用各种类型的传感器来执行此类测量。EME测量值可用于估计地层参数, 诸如岩石特性和岩石可钻性。EME和声学发射的现象通常被称为

“破裂发射”。破裂发射可归因于由摩擦、震动、钻探等感应的几种机械应力：拉伸应力、压缩应力或者扭转应力。

[0020] 图2示出了钻探组件和/或BHA 50的实施例。组件50包括钻头 52、工具54 (例如, LWD工具) 和管或钻柱节段56。钻探组件50的配置和部件不限于本文描述的实施例。例如, 钻头52不限于本文描述的实施例, 并且可以为任何类型的地钻钻头, 诸如牙轮钻头、刮刀钻头或冲击钻头。组件50可并入任何钻探系统, 诸如以上讨论的系统10。钻探组件50 包括用于在钻探期间测量EME的一个或多个传感器。可结合多个传感器以测量发射的不同方面, 包括与EME相关联的不同的频谱分量和电流。在一个实施例中, 组件50包括高频传感器58、低频传感器60和中频传感器62。

[0021] 例如, 低频传感器60包括一个或多个感应线圈, 用于测量EME 频谱的低频部分 (例如, 低于大约300kHz的无线电频率 (RF) 信号)。对于中频信号 (例如, 大约300kHz到3kHz的无线电频率) 而言, 在中频传感器62中包括交流电流传感器, 诸如Rogovsky线圈或Rogovsky带。该设备允许测量时间相关的电流, 该电流由来自与钻头邻近的岩石破裂区 (其特征可在于正如以下所讨论的应变感测元件) 的电磁发射感应。高频传感器58包括一个或多个传感器例如天线式传感器, 用于测量EME频谱的高频 (例如, 大于大约3MHz) 部分。在一个实施例中, 检测到的EME 频率主要在无线电频带 (即, 无线电频率) 中, 但是也可检测到其他频率。

[0022] 系统10、钻探组件18和/或钻探组件50中可包括其他类型的工具。此类工具可包括电阻率工具、声学工具、核磁共振 (NMR) 工具、伽马射线工具、核测井工具、地层测试工具和其他期望的工具。每个这种工具可根据编程指令来处理信号和数据, 并且提供关于地层的某些性质的信息, 该信息可用于提供可钻性预测。

[0023] 至少一个处理器, 诸如井下电子单元32和/或表面处理单元34, 被配置成生成并且/或者使用数学模型。该模型可用于选择并且/或者优化钻探参数, 诸如钻头选择和操作参数。在一个实施例中, 该模型被配置成以一个或多个性能参数和/或工具磨损参数 (一般称为“可钻性”或“岩石可钻性”参数) 的形式提供钻探性能的估计或预测。岩石可钻性描述了多个参数 (例如, 操作参数、地层参数、环境和/或钻孔流体参数) 对钻探性能的影响。模型的输入包括各种参数和测量值, 包括在钻探过程期间所获得的EME测量值, 这些参数和测量值可被实时应用以提供可钻性预测, 或者用于随后的模型分析。

[0024] 如本文描述的岩石可钻性为在压力下的岩石破坏和这种破坏所需的能量对钻探性能的影响的指标或估计。如本文描述, “破坏”指的是钻头在钻探期间造成的地层材料或岩石的尺寸减小或形式变化。可钻性包括钻探性能或钻探条件的指示, 诸如穿透率 (ROP) 和钻头磨损。

[0025] 如本文所描述, “岩石”指的是在钻探期间变形或者被毁坏 (例如, 破裂、粉碎或碎裂) 的任何地层材料, 并且不限于本文描述的实施例和示例。岩石可以为组成地层的至少一部分的固体或碎石材料 (例如, 矿物质和/或有机物质, 诸如煤) 的任何组合。岩石的示例包括沉积岩 (例如, 砂岩)、火成岩 (例如, 花岗岩) 和变质岩。岩石可包含单一矿物质或其他材料, 或者是多种材料的组合。

[0026] 基于井下发现的加压条件下的钻探过程的物理现象对模型进行选择或配置。基于高压条件下的岩石破坏机理非常不同于大气条件下的岩石破坏机理的认知对模型进行配

置。

[0027] 例如,由于粉碎的岩石的变形和挤压消耗了加压井下条件下的岩石破坏所花费的能量的大部分,所以高压条件下(诸如在地下钻探期间所经历的)的岩石切削的建模指示粉碎的岩石的机械性质比原始弹性岩石的机械性质更加明显地指示岩石可钻性。因此,该模型利用钻探期间的 EME测量值来估计或预测粉碎岩石所消耗的能量,该量可用作可钻性的指标。

[0028] 图3示出了钻探过程期间在地层中的岩石的不同潜在破坏机理。当钻头70切穿岩石时,在与钻头70邻近的岩石区域中发生各种过程,包括岩石的破裂、破碎和粉碎。此类过程可生成电磁能量。

[0029] 钻头下方的区域经受应变,该应变表示材料主体内(岩石块)的微粒之间的相对位移,即,给定位移与刚性主体位移在局部差别多少的测量。变形由岩石块内的应力造成,应力由包括钻头的外力感应,并且/或者由于岩石块的温度变化而引起。表示为72的该区域被认为是充当应变感测元件的封闭体积,因为区域72通过发射电磁能量和/或声学能量来响应应力-应变过程。

[0030] 在钻探期间,发生了各种破坏机理。在镶齿钻头的情况下,由于钻头与岩石之间的撞击,形成了粉碎的岩石或岩石粉74的粉碎区域。其他破坏机理可包括由于所感应的拉伸应力而形成的径向裂隙76和在区域72中形成的微裂隙78。当岩石中的应力足够大并且足够的裂隙平行于孔的底部存在时,岩石的较大碎片80可折断。除这些机理以外,如果执行冲击钻探,则可定期地感应应力。显然,钻头总是钻通预先破裂的岩石,并且可钻性强烈依赖于在岩石中建造新表面(例如,裂隙和/或微粒)所必需的比能的数量。比能为移除单位体积的岩石所需的能量。

[0031] 在大气压力下执行的钻探过程可与在高压条件下执行的过程加以区别。在大气条件下,切割机将裂隙(例如,裂隙76)敲入岩石中,从而产生大的弹性岩石碎块(例如,碎片80)。由于弹性能量的释放,这些碎块通常飞离切削面。此外,当在大气压力下执行钻探过程时,比能趋近与岩石的单轴抗压强度(UCS)在数值上接近的数值。

[0032] 在高压环境中,诸如在地层/储层钻探环境中发现的那些高压环境,压差为调整可钻性的重要因素。压差定义为钻孔中的泥浆或其他流体的压力(钻孔压力)与岩石孔隙中的压力(孔隙压力)之间的差。在钻探流体环境中,在压力下切削的岩石不产生碎块。相反,在钻探期间形成的切屑并非由弹性材料的碎块组成,而是通常包括完全粉碎和再压实材料(例如,岩石粉74)。

[0033] 由于岩石切削的各种影响,所以可以发生电磁发射(EME)。此类影响包括表面电荷的密度的变化、气体放电过程和电流的生成、电荷表面和双层的机械运动。在高压环境下,响应形成裂隙和粉碎的岩石切屑的应力-应变过程,在应变感测区域72中发生EME。无论考虑任何电磁发射机理,EME的特性(例如,频率、幅度和脉冲宽度)均依赖于在岩石中建造新表面(裂隙)所必需的比能的数量。由于可钻性(例如,钻头磨损或使用寿命和/或ROP)强烈依赖于比能的数量,所以EME测量值可用作可钻性的重量指标。

[0034] EME的不同特性可用作出于可钻性预测的目的要测量和处理的指标,因为这些特性强烈依赖于岩石的性质和钻探条件。例如,由于岩石中裂隙的形成,所以发出EM信号脉冲,该脉冲具有与裂隙长度成正比的脉冲长度和与裂隙宽度成反比的频率(例如,低无线电

频率到中无线电频率)。EM脉冲的其他参数可以为岩石破坏的指标。例如,从脉冲开始到脉冲最大值的脉冲幅度的时间的增加可以为裂隙长度的指标。

[0035] 除感应的EME以外,通过钻探还感应出电流。此类电流沿着闭合电路,在闭合电路中,电流从钻头下方的岩石区域流向钻头(或用于岩石切削的其他设备),并且返回岩石区域。由于岩石破裂之后是EME,因此发射引起可使用各种设备和技术进行测量的电流。此设备的示例为 Rogovsky带。

[0036] 测得的电流依赖于正在钻探的岩石的类型,并且因此可以为岩石类型的指标。例如,图4示出了在切削不同类型的岩石时在闭合电路中测量的电流的实验室实验结果90。

[0037] 幅度值91对应粉砂岩-砂岩交替,值92对应粗粒粉砂岩,值93 对应粘土,值94对应具有高含量粗粒材料的中等砂岩,值95对应具有方解石结合剂的粗粒/中等砂岩,值96对应具有方解石/石英结合剂的粗粒/中等砂岩,值97对应花岗岩,值98对应具有方解石结合剂的细粒砂岩,并且值99对应具有方解石填充的裂隙的花岗岩。明显地,测得的电流示出了对岩石类型的明显依赖性。

[0038] 图5显示了钻探过程期间感应的电流测量的示例性现场结果 82。现场结果82示出与电流测量值86相比的穿透率84。为进行电流幅度的测量,创建了闭合电路,在钻探过程期间,电流在闭合回路中从钻头下方的地层中的区域中流向钻头,并且然后到达控制头,并返回地层。测量靠近控制头进行。深度间隔87示出在地层的水饱和部分中测得的电流,而深度间隔88示出在地层的油饱和部分中测得的电流。正如通过该示例所显示的,测得的电流依赖于被钻探的岩石类型,例如,水饱和岩石或油饱和岩石,并且电流幅度与穿透率成反比。

[0039] 基于以上考虑,构造了模型诸如神经网络模型,该模型基于与钻探操作有关的输入参数提供可钻性和/或性能估计或预测。此类参数可包括地层材料参数(包括岩石类型和物理参数)、操作参数、钻机或钻探组件参数、感应电流以及在钻探时测量的EME的参数。

[0040] 使用以上参数,通过模型生成可钻性估计或预测。可钻性估计或预测受到多个标准或特性(例如,岩石的地质力学性质、机器参数、操作过程参数等)的影响。可钻性预测可由各种预测的或估计的参数得出,诸如穿透率(ROP)预测和钻头磨损或钻头寿命预测。在一个实施方案中,可钻性预测为对作为ROP的函数的随着时间推移发生的钻头磨损的估计。

[0041] 钻机或钻探组件参数(即,所选钻机的技术参数)对于可钻性具有显著影响。示例性参数包括钻头类型(例如,滚转切割机钻头、锤钻头、聚晶金刚石复合片(PDC)钻头以及天然直径钻头(NDB))和几何参数或结构参数,诸如切割机的直径、大小和数目。

[0042] 地层材料或地质参数影响钻探性能以及钻机的磨损。示例性地层材料性质包括岩石类型、岩石材料的物理参数(例如,织构和粒度、材料强度参数)以及结构参数(例如,节理间距、节理倾角、以及节理开度和锉削)。材料强度参数包括莫氏硬度和单轴抗压强度(UCS),单轴抗压强度与诸如密度、孔隙度、弹性和塑性的性质有关。

[0043] 操作参数包括钻探过程本身的参数或条件。此类参数的示例包括测得的深度、实际垂直深度、钻压(WOB)、转速、流速、泥浆重量、泥浆类型(例如,水基或油基泥浆)、以及钻探模式(例如,垂直压力、旋转和冲击)。

[0044] 此外,EME参数作为输入被包括,其基于从钻探期间经历应力-应变的岩石块(例如,区域72)测得的EME。EME参数测量值提供了某些钻探条件下的岩石性质和岩石破坏的指标。EME参数可从在先前的钻探操作(即,在期望可钻性预测的操作之前执行的钻探)期间或

者在期望可钻性预测的当前操作期间执行的测量获得。例如,先前的钻探操作可在所关注的相同地层或区域中的另一个钻孔(例如,补偿井)中执行,在其他区域中的另一个钻孔中执行,或者在与当前操作相同的钻孔中执行。来自先前钻探操作的预测可用于选择钻探操作参数和钻探组件参数(诸如钻头类型)两者。

[0045] EME参数可在期望可钻性预测的钻探操作期间测量。例如,在钻探操作期间,执行EME测量并且将其实时地或接近实时地输入到神经网络模型或其他模型。此类测量值用于更新可钻性估计或预测并且在钻探操作期间调节钻探参数(例如,WOB、流速、RPM)。

[0046] 以上输入参数中的一个或多个可基于来自任何合适来源的数据进行选择,诸如,在与所关注的井相同的地层或现场中的偏移井,或者在与所关注的地层具有类似之处的其他区域中的其他井,从而将从此类来源中得到的知识并入预测中。

[0047] 在一个实施例中,该模型被设计为将EME测量值和其他参数输入其中的神经网络。当存在足够的数据但无法创建确定性模型时,神经网络由于它们确定复杂关系的能力而有用。

[0048] 图6示出了被配置成使用神经网络模型生成可钻性估计或预测的处理系统100的示例。处理系统100可并入一个或多个处理单元或设备中,诸如井下处理单元、表面处理单元或它们的组合。尽管在该示例中描述的模型为神经网络模型,但该模型不限于此。

[0049] 处理系统包括BHA、工具或其他井下设备102(例如,钻探组件50)。设备102可连接到井下处理单元104,用于接收并且/或者处理测得的数据,诸如EME测量值。钻探控制和/或监测单元106和井下处理单元104向可钻性预测模块108提供输入数据,可钻性预测模块108可以为单独的处理设备或者并入表面或井下单元。

[0050] 表面和井下单元向神经网络模型112提供输入数据110,输入数据110包括合适的数据、指令和信息,以向用户或控制器提供可钻性预测数据。例如,神经网络向钻探控制和/或监测单元106输出可钻性预测数据 114,用于调节钻探参数以改善可钻性。神经网络112包括算法,以基于描述钻探操作、钻探组件和信息的测量数据和其他输入数据来估计或预测可钻性。

[0051] 处理系统100及其部件(例如,井下处理单元104、预测模块 108和/或单元106)包括用于传输数据、存储数据和处理数据的各种部件。此类部件包括,例如,存储系统、输入设备、输出设备、存储器、系统总线、显示设备等中的一个或多个。

[0052] 模型所使用的输入参数不限于本文描述的特定参数或实施例。也可考虑可影响可钻性的所关注的任何其他参数或数据。例如,从过去钻探的井中可获得的大量累计数据可用于模型。这种数据描述了在钻探井或一系列井的整个过程中的各种行为、情况和事件,并且可用作“经验教训”,且用于预测过程。

[0053] 参照图7,其描述了执行钻探操作并且/或者预测地层和/或岩石参数诸如可钻性的方法120。方法120可经由程序或软件通过计算机处理系统(例如,处理系统100、井下电子单元32和/或地面处理单元34)执行,用于生成数学模型。方法120的至少一部分可以使用先前生成的数据和存储的数据执行,或者可使用钻探操作期间生成的实时数据执行。方法120包括一个或多个阶段121-124。在一个实施例中,方法120包括以所描述的顺序执行所有阶段121-124。然而,可以省略某些阶段,可以添加阶段,或者改变阶段的顺序。

[0054] 在第一阶段121中,执行钻探操作。该操作可在期望进行预测的钻孔中或者其他钻

孔(例如,补偿井或者已钻井)中执行。钻探操作由合适的钻探系统诸如系统10执行。

[0055] 在第二阶段122中,执行各种测量。此类测量包括在钻探操作期间进行的EME测量。在一个实施例中,使用具有传感器的钻探组件,用于测量EME的不同方面。一个示例为图2的钻探组件50。

[0056] EME测量值对钻机参数、地质参数和钻探过程参数的变化敏感,以允许估计和预测可用于改善和优化钻探操作的可钻性参数。EME的不同特性可用作待测量或处理的指标,目的是进行可钻性预测。在一个实施例中,在钻探组件中包括多个EME传感器以测量不同的频率范围,诸如高无线电频率、中等无线电频率和低无线电频率。EME测量值可进行测量和处理用于以后的钻探操作,或者在钻探时立即处理或在实时处理。

[0057] 在第三阶段123中,使用包括EME测量值的各种输入参数生成并且/或者更新可钻性预测模型。在一个实施例中,至少使用EME测量值来创建并且/或者更新神经网络模型。图5示出示例性神经网络。如以上所讨论,模型预测基于与岩石破坏和由此消耗的能量直接相关的原理和物理指标。

[0058] 神经网络模型利用可钻性预测算法以基于包括EME测量值的各种输入来估计或预测可钻性参数。示例性可钻性预测为钻头寿命预测,钻头寿命预测提供了磨损特性和/或钻头的使用寿命的估计。例如,神经网络模型使用各种输入(包括地层材料参数、操作参数、钻探组件参数和EME 测量值)和选定的穿透率(ROP)输出预测的或估计的钻头寿命。钻头寿命可以为初始磨损状态(例如,钻探之前或者钻探期间的某些最初的时间)与随后的磨损状态之间的时间的估计。使用寿命可基于初始磨损状态与对于给定ROP而言的最大磨损量之间的预测时间来计算。

[0059] 在第四阶段124中,可钻性预测用于选择和/或修改钻探组件和/或操作参数,以改善或优化钻探操作。基于可钻性预测,选择用于未来钻探操作或当前钻探操作的导致改善的或优化的可钻性的操作参数和/或钻探组件参数。例如,基于可钻性预测,选择对于期望的ROP而言提供最小磨损量的钻头类型。此外,操作参数诸如WOB和RPM可基于预测进行选择。

[0060] 在一个实施例中,可在钻探期间实时执行可钻性预测和操作参数选择。基于可钻性预测,可修改操作参数以改善可钻性,例如,增加钻头的寿命同时保持在其他的约束(例如,钻井所耗费的总时间)内。神经网络(或其他合适的模型)的应用允许操作者和/或处理器模拟或预测在进一步钻探井眼时将钻探参数从它们的当前水平改变的效果。钻探系统可因此预见钻探过程并确定最优的行动方案。

[0061] 例如,井下处理器诸如电子单元32与表面计算机诸如表面处理单元34实时配合。基于表面处理单元34获取的操作测量值、在井下获取的EME测量值和提供给神经网络模型的其他数据来估计预测的可钻性参数。表面处理单元34使用可钻性参数,以调节操作参数从而提供更高的钻探效率。

[0062] 本文描述的系统和方法提供了优于现有技术各种优势。本文描述的实施例提供了改善或优化钻探操作性能的能力,特别是在高压条件下。通过此类实施例提供的预测允许在钻探之前和钻探期间选择或修改钻探参数。例如,所述预测允许在钻探之前优化钻头选择并且选择在钻探时足以维持钻探性能(例如,ROP)的钻探条件。

[0063] 此外,如以上所讨论,钻探期间的压差损害模型的能力,所述模型使用诸如无侧限

抗压强度 (UCS) 和摩擦角 (N) 的参数提供有效的可钻性预测。例如,基于此类模型的ROP预测过小预测压力对钻探的影响。本文描述的模型实施例利用其他性质,包括测得的EME,该模型相对于其他模型提供了优异的预测。

[0064] 通常,本文的教导中的一些简化为存储在机器可读介质上的算法。该算法(例如,可钻性预测算法)通过计算机处理系统实施并且为操作者提供期望的输出。

[0065] 为支持本文的教导,可使用各种分析部件,包括数字系统和/或模拟系统。数字系统和/或模拟系统可包括在例如井下电子单元32或处理单元34中。所述系统可包括诸如处理器、模数转换器、数模转换器、储存介质、存储器、输入端、输出端、通信链路(有线的、无线的、脉冲泥浆、光学的等)、用户界面、软件程序、信号处理器(数字或模拟信号)的组件和其他此类组件(诸如,电阻器、电容器、电感器等),从而以本领域公知的若干方式中的任何一种提供本文公开的装置和方法的操作和分析。据知,这些教导可以但并不必须与存储在计算机可读介质上的一组计算机可执行指令结合实施,计算机可读介质包括存储器(ROM、RAM)、光学介质(CD-ROM)或磁介质(磁盘、硬盘驱动器),或在执行时使得计算机实施本发明方法的任何其他类型。除在本公开中描述的功能以外,这些指令还可提供装备操作、控制、数据收集和分析以及系统设计者、所有者、用户或其他此类人员视为相关的其他功能。

[0066] 进一步地,可提供和要求各种其他部件,用于提供本文教导的方面。为支持本文讨论的各个方面或者支持超出本公开的其他功能,可包括,例如,电源(例如,发电机、远程供电和电池中的至少一个)、冷却部件、加热部件、起动力(诸如平移力、推进力或旋转力)、数字信号处理器、模拟信号处理器、传感器、磁铁、天线、发射器、接收器、收发器、控制器、光学单元、电单元、机电单元。

[0067] 实施例的元件已经使用冠词“一个/种”中的任一个进行介绍。冠词旨在意为存在所述元件中的一个或多个。术语“包括”和“具有”及它们的派生词旨在是包含性的,使得除所列元件以外可存在附加元件。术语“或”在与至少两个项目的列表一起使用时旨在意为任何项目或项目的组合。

[0068] 应当认识到,各种部件或技术可提供某些必要的或有益的功能或特征。因此,正如为支持随附权利要求所需要的这些功能和特征以及它们的变型在本质上被认为是作为本文教导的一部分和所公开的发明的一部分被包括。

[0069] 尽管已经参照示例性实施例对本发明进行了描述了,但应当理解的是,在未背离本发明范围的情况下,可做出各种变化并且可用等效替代其元件。此外,在未背离本发明的基本范围的情况下,可理解到许多修改,以使特定的仪器、情况或材料适于本发明的教导。因此,本发明并非旨在被限制到作为用于执行本发明而设想的最佳模式而公开的特定实施例,相反本发明将包括落入随附权利要求书的范围内的所有实施例。

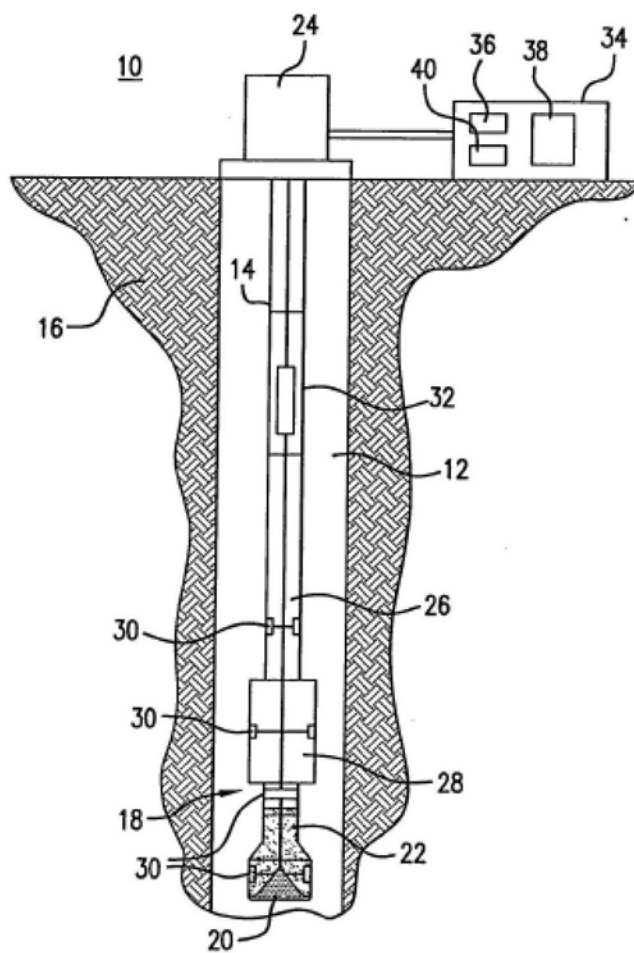


图1

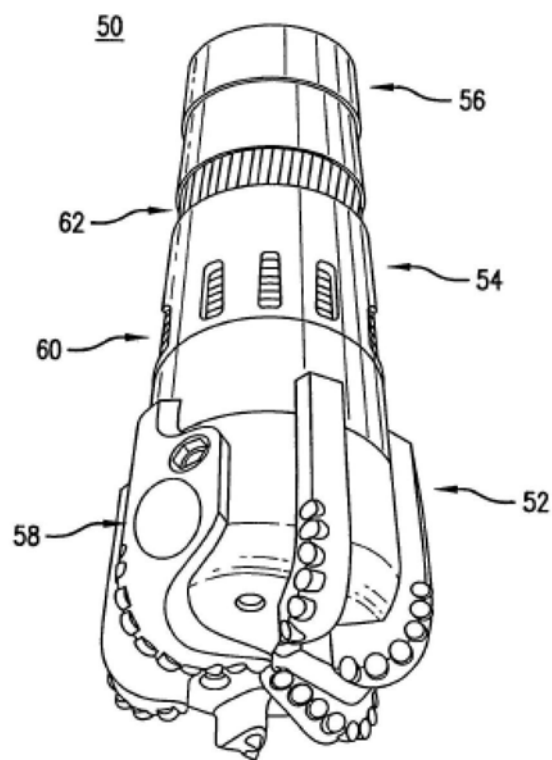


图2

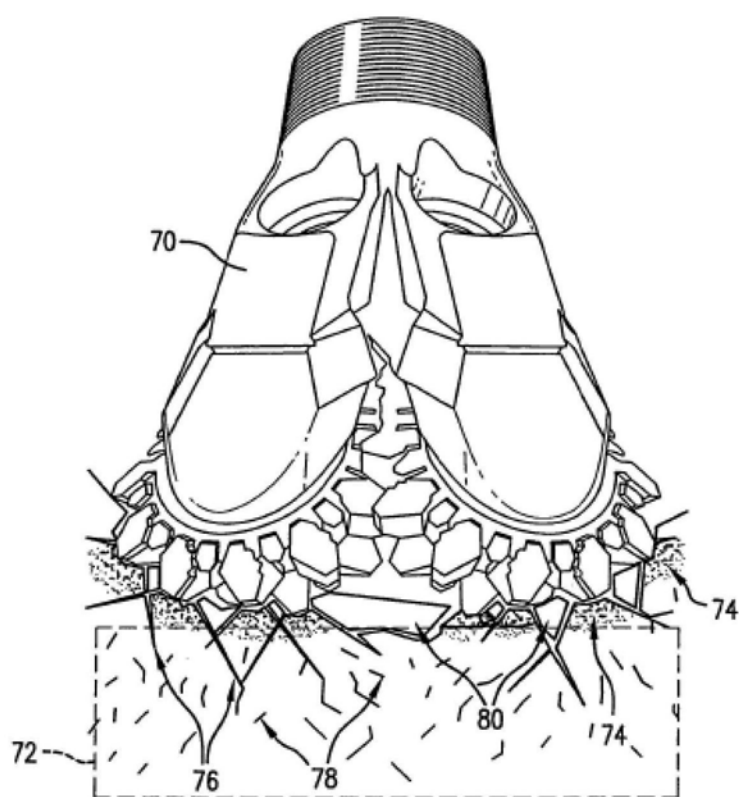


图3

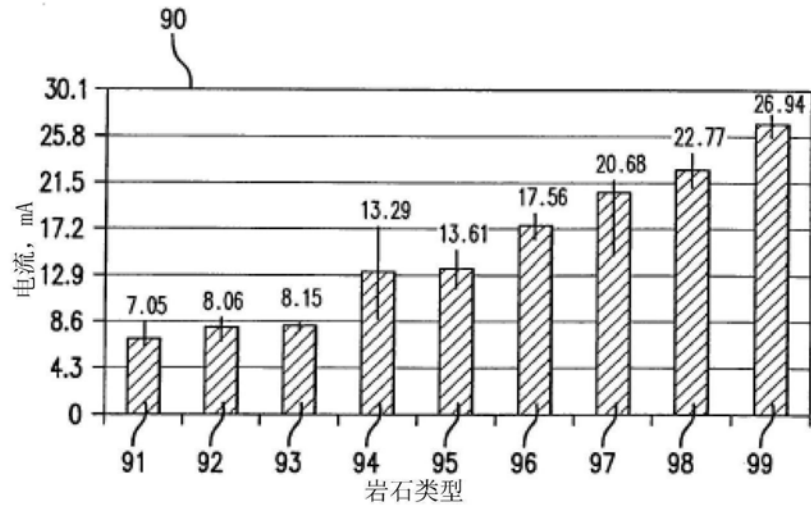


图4

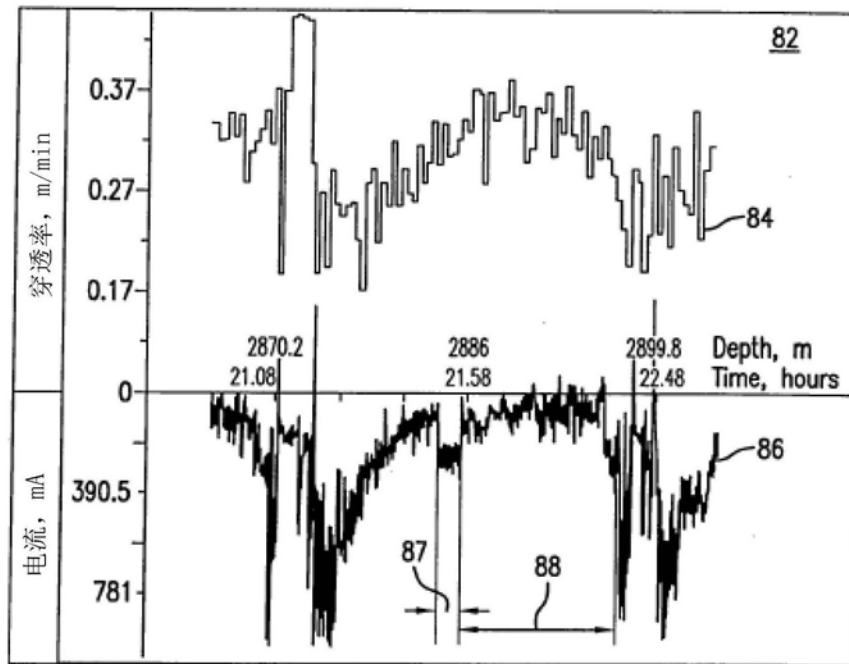


图5

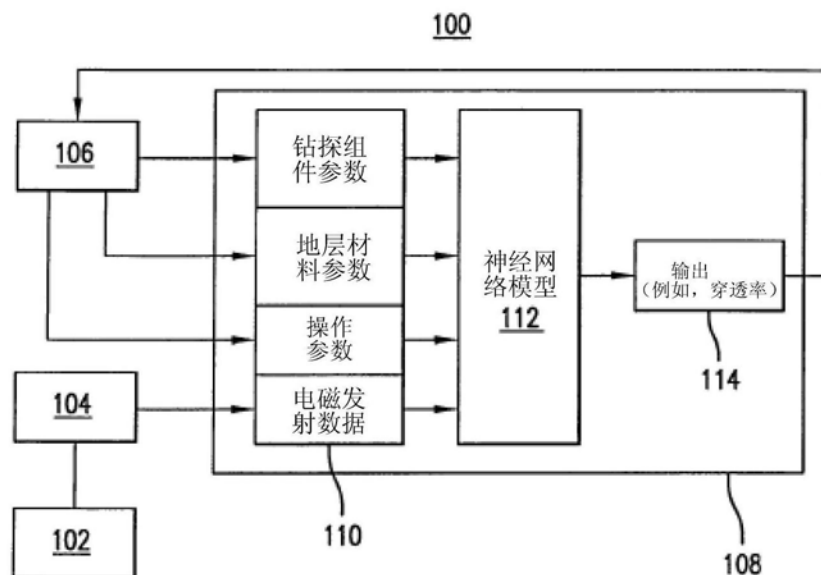


图6

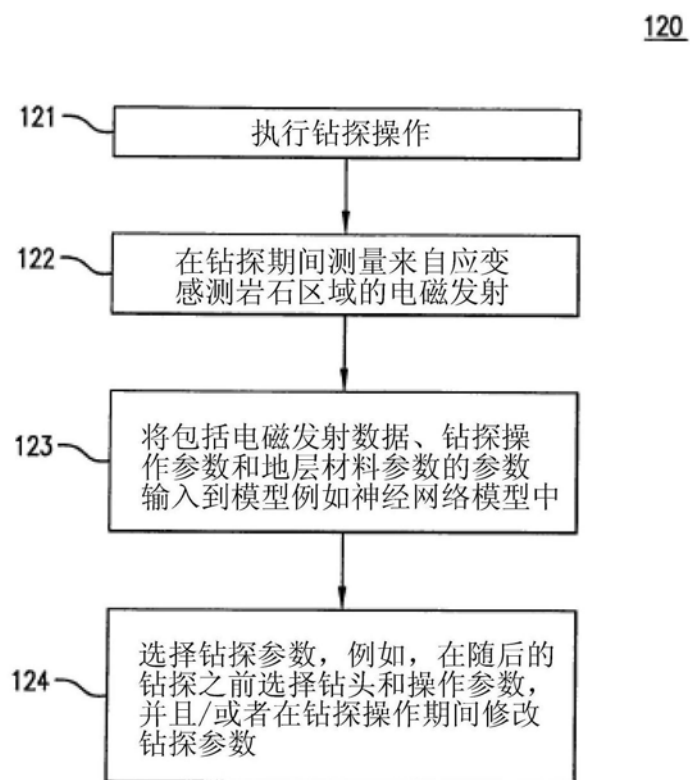


图7