



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104066928 A

(43) 申请公布日 2014. 09. 24

(21) 申请号 201280067359. X

(22) 申请日 2012. 11. 14

(30) 优先权数据

13/298, 938 2011. 11. 17 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 07. 17

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/064965 2012. 11. 14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/074593 EN 2013. 05. 23

(71) 申请人 普拉德研究及开发股份有限公司

地址 英国维尔京群岛

(72) 发明人 C·卡奥·铭 D·科达奇

R·马丁内斯 R·格里菲斯

K·B·M·格泽拉 Q·李

C·M·塞耶斯 R·塔赫里安

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002

代理人 陈松涛 夏青

(51) Int. Cl.

E21B 47/085(2006. 01)

E21B 47/003(2006. 01)

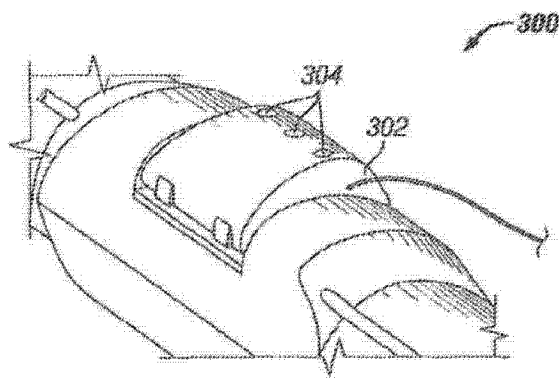
权利要求书4页 说明书8页 附图14页

(54) 发明名称

随钻井眼成像和地层评价

(57) 摘要

提供一种测井工具,具有多个不同类型的传感器,所述不同类型的传感器类型以紧密间隔安装到铰接或可伸长的垫子、套、芯轴、稳定器或这些组合上,用于在井眼中的单次测井时进行测量。这些测量用于形成井眼中的图像,并且所述图像用于获得当地的地质情况,优化井位,进行地质力学勘探,优化钻井操作并且进行地层评价。所述测井工具包括处理器,其能够进行这些测量,形成所述图像,进行所述操作,并且进行所述确定。所述多个不同的传感器可以是一个或多个电阻率传感器、介电传感器、声学传感器、超声波传感器、井径传感器、核磁共振传感器、自然光谱伽马射线传感器、光谱传感器、截面捕获传感器以及核传感器,并且它们可以是“即插即用”传感器。



1. 一种方法,包括:

提供测井工具,所述测井工具具有多个不同类型的传感器,所述不同类型的传感器以紧密间隔安装到铰接或可伸长的垫子、套、芯轴、稳定器、或这些的一些组合上;

使用所述多个不同类型的传感器在井眼中的单次测井时进行测量;

使用所述测量生成所述井眼的一幅或多幅图像;

使用所述井眼的所述一幅或多幅图像来进行以下各项中的一项或多项:推测当地的地质情况,优化井位,进行地质力学勘探,优化钻井操作,以及进行地层评价。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中一个或多个所述传感器是“即插即用”传感器。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述多个不同类型的传感器包括电阻率传感器、介电传感器、和/或声学传感器,并且特定类型的传感器被校准并且它们的响应被平均化,并且所述方法进一步包括:

通过使用相似度或第一运动方法对所述测量进行的处理来确定纵波慢度;

使用处理结果来生成连续的浅层电阻率曲线、 $V_p$  曲线和介电曲线;

确定  $V_p$  值、电阻率以及孔隙压力之间的相关性;并且

使用那些相关性将所述电阻率和  $V_p$  值转换成孔隙压力估计值。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述多个不同的传感器包括微声学传感器以及安装于垫子或安装于套上的换能器或接收器,并且所述方法进一步包括:

使用相似度或第一运动方法对所测量到的声波进行处理;

生成所述井眼的声学图像以及  $V_p$ 、 $V_s_{fast}$ 、 $V_s_{slow}$  的连续测井;并且

从剪切各向异性和方位纵波来确定应力张量分量。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述多个不同的传感器包括电阻率、介电、声学、和/或超声波传感器,以及安装于垫子或安装于套上的按钮、发射器、换能器、和/或接收器,并且其中所述一幅或多幅图像包括根据在测井工具旋转时获得的数据生成的高分辨率电阻率、介电、声学 and 超声波图像,并且所述方法进一步包括:

使用各种高分辨率图像进行联合解释;以及

使用所述联合解释确定地质结构元素。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述多个不同的传感器包括电阻率、介电、声学、和/或超声波传感器,以及安装于垫子或安装于套上的按钮、发射器、换能器、和/或接收器,并且其中所述一幅或多幅图像包括根据在测井工具旋转时获得的数据生成的高分辨率电阻率、介电、声学 and 超声波图像,并且所述方法进一步包括:

使用各种高分辨率图像进行联合解释;以及

使用所述联合解释确定地层或沉积元素。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述多个不同的传感器包括电阻率、介电、声学、超声波、和/或井径传感器,以及安装于垫子或安装于套上的按钮、发射器、换能器、和/或接收器、以及可移动臂,并且其中所述一幅或多幅图像包括根据在测井工具旋转时获得的数据生成的延时高分辨率电阻率、介电、声学 and 超声波图像,并且所述方法进一步包括:

使用所述高分辨率图像和来自所述井径传感器的测量结果来确定井眼崩落、伸长和地层损伤;以及

使用所述延时高分辨率图像和井径仪的测量结果来监测井眼劣化和/或井眼稳定。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述多个不同的传感器包括介电、核磁共振(NMR)、自然光谱伽马射线、和 / 或光谱传感器,并且所述测量包括对粘土构造进行的测量,并且所述方法进一步包括:

使用所述测量来确定粘土的介电常数、粘土束缚水含量、粘土中存在的钪和钾的量、以及粘土中其他元素的识别;以及

基于所确定的量来推测粘土类型。

9. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述多个不同的传感器包括介电和核磁共振(NMR) 传感器,并且所述方法进一步包括:

通过对根据所述介电传感器测量确定的介电常数进行处理来估计介电水容量;

通过对所述 NMR 传感器的测量结果进行逆拉普斯处理来确定 T2 分布;

利用所述 T2 分布幅值的求和来估计 NMR 总体孔隙率;

通过获得所述 NMR 总体孔隙率和所述介电水容量之间的差来确定碳烃化合物体积;以及

通过将所述介电水容量除以所述 NMR 总体孔隙率来确定水饱和度。

10. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述多个不同的传感器包括电阻率、介电、核磁共振(NMR)、和截面捕获传感器,并且所述方法进一步包括:

通过对根据所述介电传感器测量确定的介电常数进行处理来估计介电水容量;

通过对所述 NMR 传感器的测量结果进行逆拉普斯处理来确定 T2 分布;

利用所述 T2 分布幅值的求和来估计 NMR 总体孔隙率;

利用所述截面捕获传感器的测量结果来确定衰变常数的倒数;

通过将所述介电水容量除以 NMR 总体孔隙率,或利用所确定的衰变常数的倒数,来确定水饱和度;

利用所确定的水饱和度和所述电阻率传感器的测量结果来计算地层因子;以及

利用所确定的地层因子来确定岩石曲折率。

11. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述多个不同的传感器包括电阻率、介电、核磁共振(NMR)、和截面捕获传感器,并且所述方法进一步包括:

通过根据对所述介电传感器测量确定的介电常数进行处理来估计介电水容量;

通过对所述 NMR 传感器的测量结果进行逆拉普斯处理来确定 T2 分布;

利用所述 T2 分布幅值的求和来估计 NMR 总体孔隙率;

利用所述截面捕获传感器的测量结果来确定衰变常数的倒数;

通过将所述介电水容量除以所述 NMR 总体孔隙率,或利用所确定的衰变常数的倒数,来确定水饱和度;

利用所确定的水饱和度和所述电阻率传感器的测量结果来计算用于阿尔奇公式中的幂阶;

确定地层润湿性;以及

利用所确定的润湿性来控制采油,评估吸水和监测淹没动作。

12. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述多个不同的传感器包括电阻率、介电、声学、超声波、和 / 或核磁共振传感器,以及安装于垫子或安装于套上的按钮、发射器、换能器、和 / 或接收器,并且其中所述一幅或多幅图像包括根据在测井工具旋转时获得的数据生成的

高分辨率电阻率、介电、声学 and 超声波图像,并且所述方法进一步包括:

通过对所述 NMR 传感器的测量结果进行逆拉普斯处理来确定 T2 分布;

通过解释所述图像以及利用经确定的 NMR 自由流体与束缚流体的比,来估计砂 / 页岩比;以及

利用所述高分辨率图像和 / 或 NMR 双峰 T2 分布来确定薄层的存在。

13. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述多个不同的传感器包括介电和核磁共振 (NMR) 传感器,并且所述方法进一步包括:

利用所述介电传感器的测量结果来确定介电常数;

通过对所确定的介电常数进行处理来估计介电水容量;

通过对所述 NMR 传感器的测量结果进行逆拉普斯处理来确定 T2 分布;

利用所述 T2 分布幅值的求和来估计 NMR 总体孔隙率;

通过获得所述 NMR 总体孔隙率和所述介电水容量之间的差来确定碳烃化合物体积;

通过将碳烃化合物体积除以所述总体 NMR 孔隙率来确定残余油饱和度 (ROS);以及使用所确定的 ROS 来估计波及系数。

14. 根据权利要求 13 所述的方法,进一步包括决定是否进行三次开采以及三次开采的类型。

15. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述多个不同的传感器包括介电、核磁共振 (NMR)、和截面捕获传感器,并且所述方法进一步包括:

通过对根据所述介电传感器测量确定的介电常数进行处理来估计介电水容量;

通过对所述 NMR 传感器的测量结果进行逆拉普斯处理来确定 T2 分布;

利用所述 T2 分布幅值的求和来估计 NMR 总体孔隙率;

利用所述截面捕获传感器的测量结果来确定捕获截面中子衰变时间曲线;

利用所述截面捕获传感器的测量结果来确定所述衰变常数的倒数;

通过获得所述 NMR 总体孔隙率和所述介电水容量之间的差来确定碳烃化合物体积;

通过将所述介电水容量除以所述总体 NMR 孔隙率,利用所确定的衰变常数的倒数,或者另外由所述 NMR 的测量结果进行估计,来确定水饱和度;以及

利用不依赖于水矿化度的测量结果来评价低对比油气层。

16. 根据权利要求 15 所述的方法,其中所述不依赖于水矿化度的测量包括地层因子 (阿尔奇公式参数 m) 和润湿性 (阿尔奇公式参数 n)。

17. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述多个不同的传感器包括核磁共振 (NMR)、核、声学 and 光谱传感器,并且所述光谱传感器测量元素产出,所述核传感器进行密度、中子和  $\sigma$  测量,所述声学传感器提供纵波速度 ( $V_p$ ) 信息,NMR 测量结果生成回波串,并且所述方法进一步包括:

重组光谱标识元素,以给出矿物学信息;

使用所述密度、中子和声波测量结果来识别岩层;

通过对所述 NMR 传感器的测量结果进行逆拉普拉斯处理来确定 T2 分布;

利用所述 NMR 的 T2 分布,从所述矿物信息或确定的岩石密度,来获得孔隙率;以及

利用所确定的矿物信息,来执行关于完井或增产工作、岩石分类或者估计孔隙率的决策。

18. 一种测井工具,包括:

多个不同类型的传感器,所述不同类型的传感器以紧密间隔安装到铰接或可伸长的垫子、套、芯轴、稳定器、或这些的一些组合上;

处理器,所述处理器能够利用所述多个不同类型的传感器在井眼中单次测井时进行测量;利用所述测量生成所述井眼的一幅或多幅图像;并且利用所述井眼的所述一幅或多幅图像来进行以下各项中的一项或多项:推测当地的地质情况,优化井位,进行地质力学勘探,优化钻井操作,和进行地层评价。

19. 根据权利要求 18 所述的测井工具,其中所述多个不同的传感器选自由以下各项构成的组:电阻率传感器、介电传感器、声学传感器、超声波传感器、井径传感器、核磁共振传感器、自然光谱伽马射线传感器、光谱传感器、截面捕获传感器以及核传感器。

20. 根据权利要求 18 所述的测井工具,其中所述多个不同的传感器是“即插即用”传感器。

## 随钻井眼成像和地层评价

### 背景技术

[0001] 测井工具长期被用于井眼中,例如进行地层评价的测量,以便推断出井眼周围的地层及地层中的流体的属性。虽然也使用很多其他的工具类型,但是通常的测井工具包括电磁工具,核工具和核磁共振(NMR)工具。

[0002] 早期的测井工具在井眼被钻出后与测井电缆连接并进入井眼中,现代版的这种测井电缆工具仍然被广泛的使用。然而,钻井眼时对信息的需求产生了随钻测量(NWD)工具和随钻测井(LWD)工具。通过在钻井过程中收集处理这些信息,钻井者可以修改或纠正关键操作步骤,以优化操作。

[0003] NWD工具典型地提供钻井参数信息,例如钻压、扭矩、温度、压力、方向以及斜度。LWD工具典型地提供地层评价的测量结果,例如电阻率、孔隙率、以及核磁共振(NMR)分布。NWD和LWD工具通常具有与测井电缆共用的部件(例如发送和接收天线),但是NWD和LWD工具不但要经受住严酷的钻井环境,还必须构造成能够在严酷的钻井环境下进行操作。术语NWD和LWD通常被互换使用,而本公开中使用其中任何一个术语应该理解为同时包括地层和井眼信息的收集以及钻井组件的运动和布置数据。

[0004] 测井工具还可以用于井眼成像。例如,对电阻率、密度、光电因子、自然伽马射线辐射、介电常数和声阻抗(例如超声波)的测量已经被用于井眼成像。如果不是全部,大部分这些成像方法依赖于所使用的钻井流体(“泥浆”)的类型。

### 发明内容

[0005] 测井工具,具有多个不同类型的传感器,所述传感器以紧密间隔安装到铰接或可伸长的垫子、套、芯轴、稳定器或以上各项的一些组合上,提供所述测井工具并且将其用于在单次测井中对井眼进行测量。这些测量用于生成井眼的图像,并且所述图像用于推导当地的地质情况,优化井位,进行地质力学勘探,优化钻井操作并且进行地层评价。所述测井工具包括处理器,所述处理器能够进行这些测量,生成所述图像,进行所述操作,并且进行所述确定。所述多个不同的传感器可以是一个或多个电阻率传感器、介电传感器(dielectric sensor)、声学传感器、超声波传感器、井径传感器、核磁共振传感器、自然光谱伽马射线传感器、光谱传感器、截面捕获传感器、以及核传感器,并且它们可以是“即插即用”传感器。提供本发明内容,用于选择性地介绍一些概念,这些概念在下文详细的说明书中被进一步描述。本发明内容不旨在标识所要求保护的的主题的关键或必要特征,也不旨在用于帮助限制所要求保护的的主题的范围。

### 附图说明

[0006] 参考附图对井眼成像和地层评价的随钻测井工具的实施例进行描述。相同的标记通常被用于所有附图,以指示相同的特征或部件。

[0007] 图1示出了井场系统。

[0008] 图2示出了现有技术中的电磁测井工具。

- [0009] 图 3 示出了根据本公开的井眼成像和地层评价的随钻测量工具的实施例。
- [0010] 图 4 示意性示出了根据本公开的安装于芯轴中的采集和控制电子装置。
- [0011] 图 5 示意性示出了根据本公开具有中子段的图 4 中的芯轴 (mandrel)。
- [0012] 图 6 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0013] 图 7 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0014] 图 8 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0015] 图 9 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0016] 图 10 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0017] 图 11 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0018] 图 12 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0019] 图 13 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0020] 图 14 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0021] 图 15 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0022] 图 16 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0023] 图 17 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0024] 图 18 是示出了根据本公开的实施例的流程图。
- [0025] 应该理解的是,这些附图不一定是成比例的,且本公开的实施例有时是被示意性示出或部分图示的。在有些例子中,可以忽略对理解所公开的方法或装置不是必要的或者使得其他细节难以理解的细节。应该理解的是,本公开并不限于在此所述的特定的实施例。

### 具体实施方式

[0026] 现在参考附图描述一些实施例。为了保持一致,在不同附图中,同样的元件使用同样的数字标记。在下面的描述中,阐明了许多细节,以便理解不同的实施例和 / 或特征。然而,所述领域技术人员应该理解的是,可以在没有一些所述细节的情况下实践一些实施例,并且所描述的实施例的许多变化或修改是可能的。如这里所使用的,指定给定点或者元件之上或者之下的相对位置的术语“之上”和“之下”;“上”和“下”;“上部”和“下部”;“向上”和“向下”以及其他类似术语用在该说明书中来更清楚地描述本发明的一些实施例。但是当应用到偏斜或者水平的井中的设备和方法时,如果合适,这样的术语可以指的是从左到右、从右到左或者对角关系。

[0027] 图 1 示出了多个实施例可以应用的井场系统,所述井场系统可以在陆上或者离岸。在这个示例性系统中,井眼 11 通过众所周知的方式通过旋转钻井形成于地下的地层中,一些实施例同样可以使用定向钻井,这将在下文中进行描述。

[0028] 钻柱 12 悬置于所述井眼 11 中,并且具有井下钻具组件 100,井下钻具组件 100 在其下端包括钻头 105。地面系统包括设于井眼 11 上的平台和井塔组件 10,所述组件 10 包括转盘 16,方钻杆 17,挂钩 18 和转环 19。所述钻柱 12 由转盘 16 驱动旋转,转盘通过未示出的方式驱动,转盘将方钻杆 17 接合至钻杆的上端。所述钻柱 12 通过方钻杆 17 和转环 19 悬置于挂钩 18,从而允许钻柱相对于挂钩旋转,挂钩 18 附着至滑动块 (未示出)。众所周知,可以替代地使用顶部驱动系统。

[0029] 在本实施例的示例中,地面系统进一步包括存储于形成于井场的池 27 中的钻井

流体或泥浆 26。泵 29 将所述钻井流体 26 通过转环 19 中的端口传送至钻杆 12 的内部,使钻井流体如方向箭头 8 所示向下流经钻柱 12。所述钻井流体通过钻头 105 的端口排出所述钻柱 12,然后通过钻柱外部与井眼内壁之间的环形区域向上循环,如方向箭头 9 所示。在此公知的方式中,所述钻井流体润滑所述钻头 105,在其回到池 27 用于再循环的同时,将地层岩屑向上带至地面。

[0030] 示出的实施例中的所述井下钻具组件 100 包括随钻测井 (LWD) 模块 120、随钻测量 (MWD) 模块 130、旋转导向系统和电机 150、以及钻头 105。

[0031] LWD 模块 120 如现有技术中所公知的那样容纳在一种特殊类型的钻铤中,并且可以包含一种或多种现有类型的测井工具。还应该理解,可以采用一个以上的 LWD 和 / 或 MWD 模块,例如如图中的附图标记 121 所示 (在整个申请中,对附图标记 120 的位置处的一个模块的描述同样适用于附图标记 121 的位置处的一个模块)。LWD 模块具有用于测量、处理和存储信息以及用于与地面仪器进行通信的能力。在本实施例中,LWD 模块包括电阻率测量装置。

[0032] MWD 模块 130 也如现有技术中所公知的那样容纳在一种特殊类型的钻铤中,并且可以包含一个或多个用于测量钻柱和钻头的属性的装置。MWD 工具还包括用于向井底系统产生电能的装置 (未示出)。这通常可以包括由钻井流体的流动驱动的泥浆涡轮发电机,可以理解,也可以采用其他功率和 / 或电池系统。在本实施例中,MWD 模块包括以下类型的测量装置中的一种或多种:钻压测量装置、扭矩测量装置、振动测量装置、冲击测量装置、粘滑测量装置、方向测量装置和倾斜测量装置。

[0033] 图 2 示出了可以作为 LWD 工具 120 或者 LWD 工具套件 121 的一部分的工具的例子。从图 2 可以看出,上部和下部发射天线 T1 和 T2 之间具有上部和下部接收天线 R1 和 R2。这些天线形成于修改后的钻铤的凹槽中,并且安装于 MC 或绝缘材料中。接收器之间的电磁波相移提供了探测深度较浅的地层电阻率的指标,接收器之间的电磁波衰减提供了探测深度较深的地层电阻率的指标。可以参考美国专利第 4899112 号了解更多细节。在操作中,以衰减为代表的信号和以相位为代表的信号被耦合到一个处理器,其输出可耦合于遥感电路。

[0034] 最近的电磁 (EM) 测井工具使用一个或多个倾斜或横向天线,同时可使用或不使用轴向天线。这些天线可为发射器或接收器。倾斜天线是偶极矩既不平行于也不垂直于工具纵向轴的天线。横向天线是偶极矩垂直于工具纵向轴的天线,且轴向天线是偶极矩平行于工具纵向轴的天线。三轴天线是三个天线 (也就是天线线圈) 被设置成相互正交的天线。通常一个天线 (线圈) 是轴向的,且其他两个天线是横向的。据说,如果两个天线的偶极矩向量以相同角度与工具纵向轴相交,那么这两个天线具有相同角度。例如,如果两个倾斜天线的偶极矩向量 (其尾部在理论上固定于工具纵向轴上的某点) 落在以工具纵向轴为中心且顶点在参考点处的直立圆锥的表面上,那么这两个倾斜天线具有相同倾斜角度。横向天线明显具有相同的 90 度角,且始终具有 90 度角而不管其相对于工具的方位取向。

[0035] 提供了一种提供随钻井孔成像的方法和工具。这样的图像可以例如用于确定当地的地质条件、井位安排、地质力学勘探和钻井优化。所述方法和工具还可以用于地层评价。所述图像可以是高分辨率的,且可以在不同的井眼直径下获得。所述工具和方法不依赖于所使用的钻井流体 (泥浆) 的类型。

[0036] 当间隔距离 (从传感器至井眼内壁的距离) 最小时,大多数传感器提供更好的测



量。为了使得间隔最小化,传感器可以例如被布置于可伸长或铰接的垫子,或者可以设置于稳定器的一个固定部分上,例如靠近稳定器刀翼(stabilizer blade)的外周。所述传感器还可以被安装于套或直接安装于芯轴上。一些传感器类型(例如微声(microsonic)传感器)相比其他的传感器对间隔距离更不敏感,所以可接受的最大间隔距离将取决于所进行的测量的类型。在一些情况下,铰接垫子可以试图使用尽可能小的压力将传感器或传感器组保持抵压到井眼内壁上,而在其他的实施例中,传感器位于工具上的固定位置,以便传感器靠近但不接触井眼内壁。当传感器磨损或损毁的可能性成为关注的事项时,使用来自铰接垫子的最低的压力。图3示出了具有可伸长或铰接的垫子302的工具300的实施例

[0037] 可以使用一个或多个传感器304以及一个或多个传感器类型。所述传感器可以相互替换,或者被称作是“即插即用”型传感器,它们适应所有的钻铤尺寸,或者易于缩放以适应其他的工具尺寸。所述传感器例如可以测量介电常数,使用电流测量进行超高电阻率成像,使用电压测量进行油基泥浆成像,使用微感应测量地层导电率的变化,进行微声或超声测量或者进行核磁共振测量。传感器可以根据它们需要的间隔进行布置,或在另一方面,多个传感器类型可以相互靠近的布置于同一个垫子上。布置相同类型的传感器还可以用于测量时的冗余。此外,诸如角编码器(未示出)的传感器可以测量铰接垫子302的接合角度,以提供机械式井径测量。

[0038] 在图4示出的实施例中,采集和控制电子装置402被安装于芯轴404的内部区域。芯轴通常对于不同的工具尺寸是唯一的,但并不必然如此。一般地,不同尺寸的工具需要不同的钻铤和稳定器,但并不一直如此。数据和功率可以无线或经由芯轴404与例如垫子302之间的线路传送。如有需要,垫子302中的电子装置402可以例如使用充油的陶瓷基片多芯片模块(ceramic multichip module)来进行压力补偿。测量垫子单元可以被优化用于(低)像素尺寸或测量精度和探测深度。角取向可以使用例如磁力计进行测量。

[0039] 芯轴404还可以承载中子段406,以将其应用延伸至岩石物理学和油藏描述(参见图5)。所述中子段406可以包括脉冲中子发生器(PNG)快中子源、中子监测器(nm)、以及沿工具轴线分布的探测器,以捕获可变的源-探测器间距的影响,例如岩性和环境影响。所述探测器和测量类型可以包括,但不限于至少2个X热中子探测器(氦管)(包括在时间域中的数据收集),超热中子探测器(氦管)(包括在时间域中的数据收集),至少2个伽马射线谱探测器(如有需要,包括闸门数据采集和时间域中的数据收集,和水流对数型功能(water-flow log type capability))。可以提供伽马射线或中子流的安全防护材料,以校准测量结果。

[0040] 所述中子段完全可伸展,也就是说,它可以用于所有(正常的)工具尺寸。测量可以是单个或多个勘察深度,并且可包括热中子孔隙度、最佳的 $\phi$ 中子孔隙度、脉冲中子密度、热中子吸收截面(即,捕获截面)、以及热中子俘获谱。碳/氧化物的比率可以通过快速中子非弹性散射分析来确定。

[0041] “单次测井”是指包括测井平台在井眼中进出的一个往返。测井可以发生在下井时,或者在井眼中保持静止时,或起出时,或者这些的任意组合。

[0042] 在一个实施例中,在单个平台中可以包括所有期望的地质力学勘探的测量类型。随钻高分辨率井眼图像、钻孔尺寸和钻孔形状的测量、应力各向异性测量、页岩/岩石评价和粘土分类与延时模式的组合,提供了通常所应考虑的对地质/地质力学(geological/

geomechanical) 进行解释的全部的信息。

[0043] 两个可能的地质力学应用是确定孔隙压力 (pore pressure) (600) (参见图6) 和保持井眼稳固。例如使用电阻率传感器、介电传感器或声学传感器进行测量 (602)。作为一个具体的例子,电阻率传感器可以如上面描述的那样被安装于垫子,套,或直接安装于工具芯轴上。它们可以是电极按钮 (buttons) 或者是传送、接收天线。所述电阻率按钮或天线可以被校准,并且它们的响应被平均化 (604)。根据电磁波衰减和相移测量介电属性,并且使用相似度 (semblance) 或第一运动方法进行的处理可以用来确定纵波慢度 (compressional slowness) (606)。这些结果可以用于产生连续的浅层电阻率曲线,压缩波速度 ( $V_p$ ) 曲线,和介电曲线 (608)。确定  $V_p$  值、电阻率、介电常数、以及孔隙压力之间的相关性 (610)。对于不同的区域,或从一个盆地到另一个盆地,这些可能是不同的。油井测压时,这些相关性可以被校准。使用这些相关性,电阻率和  $V_p$  值可以被转换成孔隙压力曲线估计量 (612)。泥浆比重可以限制于孔隙压力和压裂梯度之间,以保持井眼稳定。

[0044] 如图7所示,另一个可能的地质力学应用是确定地层的一个或多个应力张量分量 (700)。微声学传感器连同以紧密间隔安装于垫子或安装于上的换能器/接收器共同使用 (702)。声波可以根据相似度 ( $V_p$ ,  $V_s$  (剪切速度)) 或第一运动 ( $V_p$ ) 方法来处理 (704)。所述很小的间距和旋转工具允许井眼成像。地层中的压力可以将剪切波分解成  $V_{s\_slow}$  和  $V_{s\_fast}$  两个分量,并且还可以造成纵波  $V_p$  围绕井眼的周期性变化。可以进行井眼中的  $V_p$ ,  $V_{s\_fast}$ ,  $V_{s\_slow}$  和声学图像连续测井 (706)。压力可以根据剪切各向异性和方位纵波来确定。此外,与远场  $V_p$  值进行比较,可以允许地层损伤评估。

[0045] 在另一个实施例中,在单个平台中可以包括对于地质勘探的所有期望的测量类型。可以同时 (即在同一时刻,或在同一测井过程中) 获得所期望的数据,从而能够从所有的成像中进行卓越的地质解读。所述期望的数据的例子包括说明电性差异的电阻率图像,说明阻抗差异的声学图像,说明柔度差异的微声图像,和说明流体差异的介电图像。

[0046] 对于地质结构勘探 (800) (图8), (微型) 电阻率、介电、声学或超声波传感器可以连同以紧密间隔安装于垫子或安装于套上的按钮、发射器、换能器和/或接收器共同使用 (802)。所述工具旋转运动允许高分辨率电阻率、介电、声学 and 超声成像 (804)。产生这些图像的处理工作流程可以使用现有的商业软件完成。由于涉及到不同的物理规则,来自不同传感器的多幅图像的联合解释 (806),为确定的结构性事件提供了鲁棒性。结构元素,例如层理、断裂、断层、褶皱、不整合、砂体等,可以从图像中使用特定的特征 (例如,低/高角度正弦波,不规则表面等) 进行解释 (808)。

[0047] 类似地,对于地质地层、沉淀或者断裂的勘探 (900) (图9), (微型) 电阻率、介电、声学或超声波传感器可以连同以紧密间隔安装于垫子或安装于套上的按钮、发射器、换能器和/或接收器共同使用 (902)。所述工具旋转运动允许高分辨率电阻率、介电、声学 and 超声成像 (904)。产生这些图像的处理工作流程可以使用现有的商业软件完成。由于涉及到不同的物理规则,来自不同传感器的不同图像的联合解释 (906),为确定的沉积环境、古生物学沉积流方向和断裂评估 (例如密度、孔隙率、定向等) 提供了鲁棒性。地层或沉积元素,例如化石、洞穴、粒径、晶簇、结核、细粒、或者粗化序列等,可以从图像中使用特定的特征 (例如,形状、分布、位置等) 进行解释 (908)。

[0048] 另一实施例包括单个工具中的所有期望的成像、粘土分类技术和多臂井径测量。

随钻的高分辨率井眼图像和钻孔尺寸和钻孔形状与延时模式的组合,能够允许估计钻井过程中的井眼损坏和卸荷应力。能够随钻粘土分类允许操作者例如避免钻进超压带的风险,超压带与蒙脱石向伊利石的转化相关联。

[0049] 为了确定井眼尺寸和形状 (100) (参见图 10), (微型) 电阻率、介电、声学或超声波传感器,连同井径传感器,可以与有可移动臂且以紧密间隔安装于垫子或安装于套上的按钮、发射器、换能器和 / 或接收器共同使用 (1002)。所述工具旋转运动允许高分辨率电阻率、介电、声学 and 超声成像 (1004)。臂或者铰接垫子的开或闭使得电位计移动,电位计经井孔直径校准。通过这些数据产生这些图像的处理工作流程可以使用现有的商业软件完成。井眼崩落、伸长和地层损伤可以通过图像和多臂井径测量来进行研究 (1006)。延时图像和井径测量允许人们监测井眼劣化,并且在一定程度上,监测井眼的稳定。

[0050] 对于粘土分类 (1100) (图 11), 例如可以使用介电常数传感器、核磁共振 (NMR) 传感器、自然光谱伽马射线 (GR) 传感器或者光谱传感器 (1102)。这些传感器可以分别提供信息, 这些信息关于粘土的介电常数 ( $\epsilon$ ), 粘土束缚水含量, 粘土中存在的钍和钾的量, 以及粘土中其他元素的鉴别 (1104)。基于观测, 可以对粘土的类型做一定的推测, 例如  $\epsilon$  的增大暗示了粘土表面积的增加, 所述粘土束缚水直接与阳离子交换能力 (CEC) ( $Q_v$ ) 相关, 钍和钾的比率 (粘土类型的直接指标), 并且光谱元素被重组以给出总体上的粘土成分 (1106)。因此, 粘土类型可以由对表面积敏感的测量、CEC、磁特性和矿物学来确定。

[0051] 在另一实施例中, 单个平台可以包括用于地层评价的所有期望的测量类型。可以同时 (即在同一时刻, 或同一测井过程中) 获得所期望的数据, 从而即使在困难的情形下也能够进行地层评价。期望的数据的例子包括 (微型) 电阻率、介电、密度、中子、GR、光谱、微声和 NMR 测量。当在侵入前 (即钻井时) 测量或在侵入后起钻或划眼时测量, 可以获得有用的信息。

[0052] 例如, 孔隙率和水饱和度可以独立于水矿化度来确定 (1200) (图 12)。使用介电传感器和 NMR 传感器进行测量 (1202)。地层的所述介电常数 ( $\epsilon$ ) 由所述介电测量确定, 且回波串由所述 NMR 测量进行记录。所述测量可以在钻井时进行, 以减小侵入的影响。对已确定的介电常数进行处理, 产生了总体水容量的估计 (1204), 且对于 NMR 数据的逆拉普拉斯处理产生了 T2 分布 (1206)。T2 分布幅值的求和提供了 NMR 总体孔隙率的估计 (1208)。所述 NMR 总体孔隙率和所述介电水容量之间的差异被认为是碳烃化合物体积 (1210)。所述水饱和度 ( $S_w$ ) 可以通过将介电水容量除以 NMR 总体孔隙率来确定 (1212)。

[0053] 另一例子涉及地层因子的确定以及使用此因子来确定岩石曲折率 (1300) (图 13)。如上所述, 测量通过使用介电传感器和 NMR 传感器进行, 但还使用捕获截面 ( $\sigma$ ) 传感器和电阻率传感器 (1302)。地层的所述介电常数 ( $\epsilon$ ) 由所述介电测量确定, 回波串由所述 NMR 测量进行记录, 并且所述捕获截面测量对中子衰变时间曲线进行测量。对已确定的介电常数进行处理, 产生了总体水容量的估计 (1304), 且对于 NMR 数据的逆拉普拉斯处理产生了 T2 分布 (1306)。T2 分布幅值的求和提供了 NMR 总体孔隙率的估计 (1308)。衰变常数的倒数即是捕获  $\sigma$  (1310)。所述水饱和度 ( $S_w$ ) 可以通过将介电水容量除以 NMR 总体孔隙率来确定, 或者通过  $\sigma$  来获得 (1312)。使用阿尔奇公式或其变形, 从上面的  $S_w$  和电阻率测量, 人们可以计算出地层因子 “m” (1314)。地层因子被用于估计岩石曲折率 (1316)。

[0054] 类似地, 润湿性可以通过这些类型的测量而被确定 (1400) (图 14)。如上所述, 测

量使用介电传感器, NMR 传感器, 捕获截面 ( $\sigma$ ) 传感器和电阻率传感器 (1402)。地层的所述介电常数 ( $\epsilon$ ) 由所述介电测量确定, 回波串由所述 NMR 测量进行记录, 并且所述捕获截面测量对 neutron 衰变时间曲线进行测量。对已确定的介电常数进行处理, 产生了总体水容量的估计 (1404), 且对于 NMR 数据的逆拉普拉斯处理产生了 T2 分布 (1406)。T2 分布幅值的求和提供了 NMR 总体孔隙率的估计 (1408)。衰变常数的倒数即是捕获  $\sigma$  (1410)。所述水饱和度 ( $S_w$ ) 可以通过将介电水容量除以 NMR 总体孔隙率来确定, 或者通过  $\sigma$  来获得 (1412)。使用阿尔奇公式或其变形, 从上面的  $S_w$  和电阻率测量, 人们可以计算出幂阶“n”(1414)。如果 n 比 2 大, 那么应该质疑其油润湿和中间润湿 (mixed-wet) 条件。可替换地, 如果散装油 T2 的分布比油 T2 分布大, 那可以表明有表面弛豫效应, 也就是说, 有油润湿或中间润湿条件。润湿性信息可以被用来控制采油、评估吸水和监测淹没动作 (flood movement) (1416)。

[0055] 可替换的地层评价的实施例是定位薄层 (1500), 使用 (微型) 电阻率、介电、声学、超声和 NMR 传感器, 且与以紧密间隔安装于垫子或安装于套上的按钮、发射器、换能器和 / 或接收器共同使用 (1502)。NMR 短长度天线可以用作测量传感器。电阻率、介电、声学 and 超声测量可以产生高分辨率井眼图像 (1504)。通过对 NMR 测量的回波串进行逆拉普拉斯处理产生 T2 分布 (1506)。所述图像的解释连同 NMR 自由流体与束缚流体的比, 给出了砂 / 页岩比的估计 (1508)。所述高分辨率图像允许人们识别薄层, 并且 NMR 双峰 T2 分布还可以表明薄层的存在 (1510)。

[0056] 另一地层评价的实施例允许对残余油饱和度 (ROS) 进行估计 (1600) (图 16)。介电传感器和 NMR 传感器可以用于 (1602) 确定地层的介电常数和 T2 分布 (1604)。可以在起钻时或划眼时测量, 以在精心计划的钻井过程中最大化侵入。可替换地, 可以在钻井时测量, 以最小化勘探井中流动锋面后的侵入。如上所述, 对所确定的介电常数的处理产生了对总体水容量的估计 (1606), 并且对 NMR 数据的逆拉普拉斯处理产生了 T2 分布 (1608)。T2 分布幅值的求和提供了 NMR 总体孔隙率的估计 (1610)。所述 NMR 总体孔隙率和所述介电水容量之间的差提供了对碳烃化合物体积 ( $V_{hc}$ ) 的估计 (1612)。所述 ROS 可以用  $V_{hc}$  除以总体 NMR 孔隙率来确定 (1614)。可替换地, 所述 ROS 等于  $1 - S_w$ , 其中  $S_w$  由捕获截面测量中的  $\sigma$  计算得到。所确定的 ROS 可以用于估计涉及系数和决定是否进行三次开采以及三次开采的类型 (1616)。

[0057] 另一地层评价的实施例允许对低对比油气层 (low contrast pay) 的评价 (1700) (图 17)。介电传感器, NMR 传感器和捕获截面 ( $\sigma$ ) 传感器可以用于 (1702) 确定地层的介电常数、T2 分布和捕获截面中子衰变时间曲线 (1704)。如上所述, 对所确定的介电常数的处理产生了对总体水容量的估计 (1706), 并且对 NMR 数据的逆拉普拉斯处理产生了 T2 分布 (1708)。T2 分布幅值的求和提供了 NMR 总体孔隙率的估计 (1710)。衰变常数的倒数即是捕获  $\sigma$  (1712)。所述 NMR 总体孔隙率和所述介电水容量之间的差提供了对碳烃化合物体积 ( $V_{hc}$ ) 的估计 (1714)。来自水的核磁共振 T2 分布与碳氢化合物产生的核磁共振 T2 分布不同。同样, 当基于电阻率的测量, 阿尔奇公式中的参数 m 和 n 不能给出水饱和度的解释时, 源自  $\sigma$  的水饱和度可能暗示了有油气层。水饱和度  $S_w$  可以由介电水容量除以 NMR 总体孔隙率计算得到, 由  $\sigma$  计算得到, 或者另外由 NMR 的测量值估计得到 (1716)。所述不依赖于水矿化度的测量, 地层因子 (阿尔奇公式中参数 m) 和润湿性 (阿尔奇公式中参数 n) 可以用于评价低对比油气层 (1718)。

[0058] 另一地层评价的实施例允许对复杂岩性的评价 (1800) (图 18)。光谱、核、声学 and NMR 传感器可以用于 (1802) 这些测量。光谱传感器测量元素产出 (elemental yields), 核传感器进行传统的密度、中子和  $\sigma$  测量, 声学传感器提供纵波速度  $V_p$  信息, NMR 传感器产生回波串 (1804)。光谱元素被重组以给出详细的矿物学信息, 并且通过所述密度、中子和声波测井 (1806) 来识别岩层。对 NMR 数据的逆拉普拉斯处理产生了 T2 分布 (1808)。孔隙率可以直接使用 NMR 的 T2 分布来获得, 或者从矿物信息或岩石密度 (1810) 间接获得。T2 分布幅值的求和提供了 NMR 总体孔隙率。岩体密度可以由矿物学信息计算得出, 且密度孔隙度可以来源于密度测量。所述确定的矿物学信息可以例如用于完井 / 增产工作、岩石分类或者孔隙率估计 (1812)。

[0059] 在实际操作中经常遇到的各种场景中, 高级的地层流体类型和饱和度解释可能会使用一个或多个上面讨论的测量的组合。某些分析可能会利用延时数据获取。例如, 在使用水基泥浆或油基泥浆的钻井中, 人们可以确定不同的水矿化度、低矿化度、未知矿化度或低阻油层的存在。这些分析技术还可以用于其他的场景中, 在这些场景中, 常规的深探测电阻率技术失效 (例如, 大斜度井或者具有明显的地层界面效应的井)。这些测量一般是方位角的, 而为了进行进一步解释, 可以将不同的测量类型进行组合测量。

[0060] 虽然仅阐明了一些实施例, 但本领域技术人员根据上面的描述会进行显而易见的变化和修改。这些和其他的变化被认为是等价的, 并包含于本公开及所附的权利要求的范围内。虽然上文仅描述了几个示例性的实施例, 所属领域技术人员应该容易理解, 在实质上不脱离本公开的范围的情况下, 可以对示例性的实施例进行多种变型。相应地, 所有这样的变型应当被包含于权利要求所限定的本公开的范围内。在权利要求中, 功能模块的条款被预期覆盖在此描述的执行所述功能的结构, 不仅限于在结构上的等价, 还包括等价的结构。因此, 尽管钉子和螺钉可能在结构上不等价, 因为钉子具有圆柱形表面, 以便紧固木质零件, 而螺钉具有螺旋形表面, 然而在坚固木质零件的环境下, 钉子和螺钉可以是等价的结构。申请人的明确意图是不为本文的任何权利要求的任何限制援引 35U. S. C. § 112 第 6 段, 除了权利要求明确使用词语“用于…的装置”和相关联的功能。

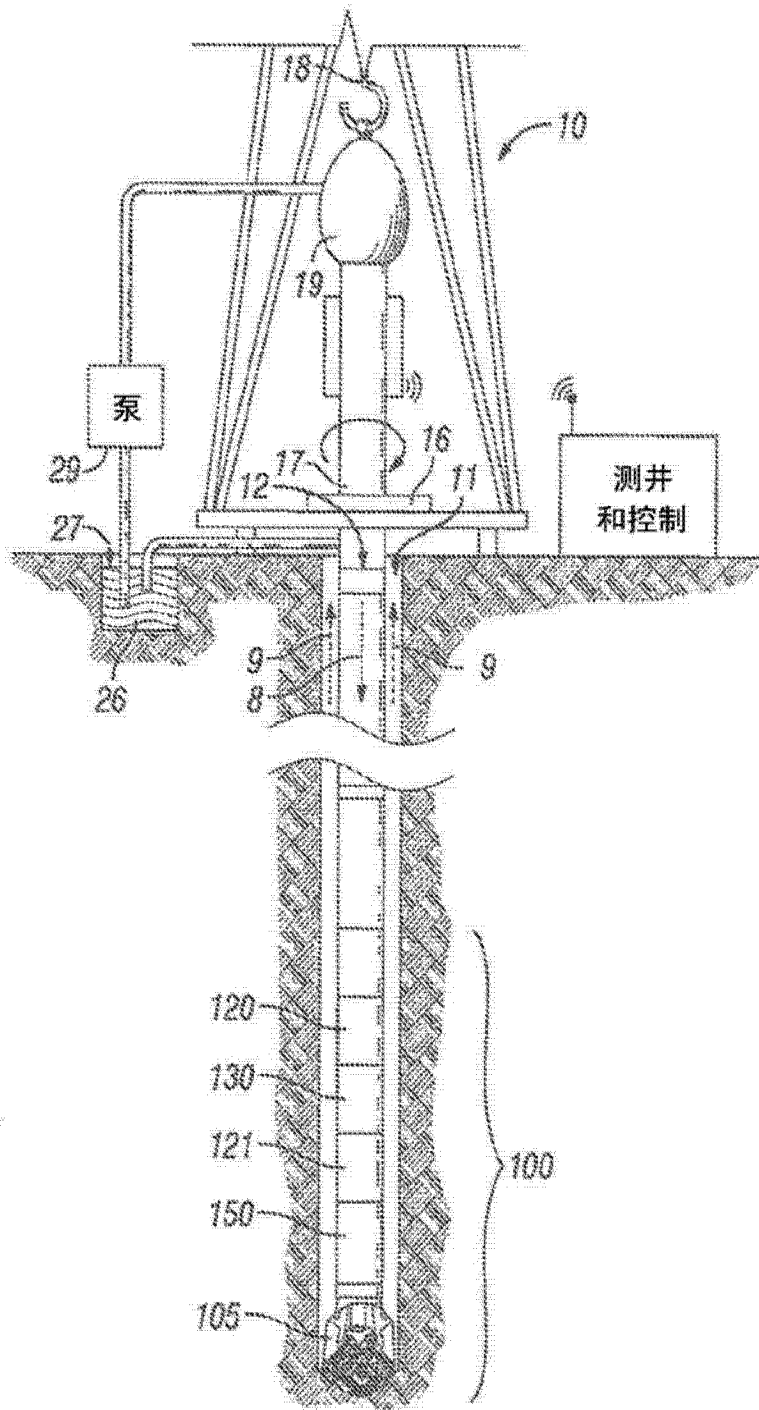


图 1 现有技术

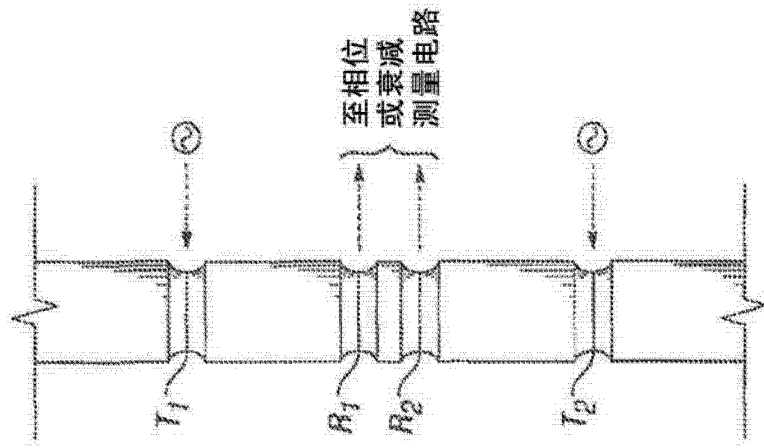


图 2 现有技术

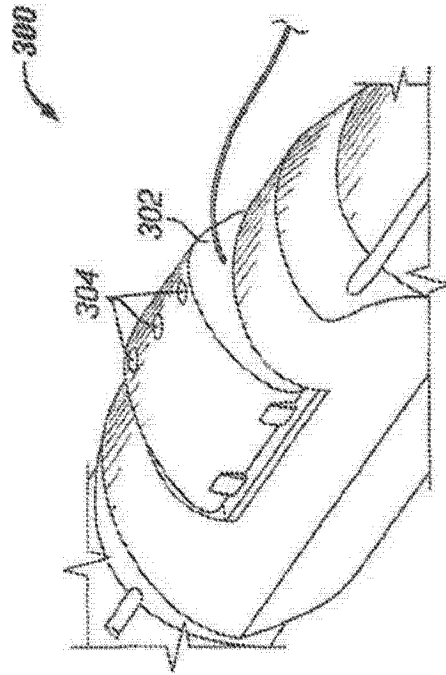


图 3

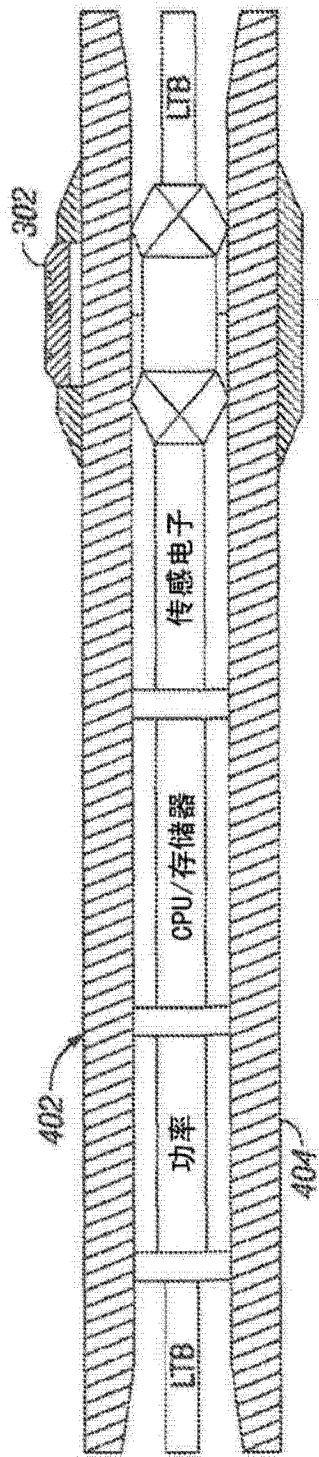


图 4

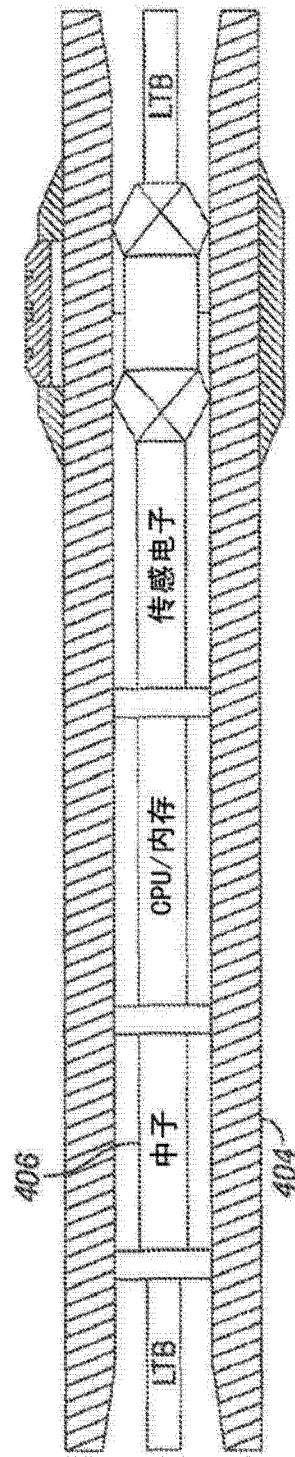


图 5



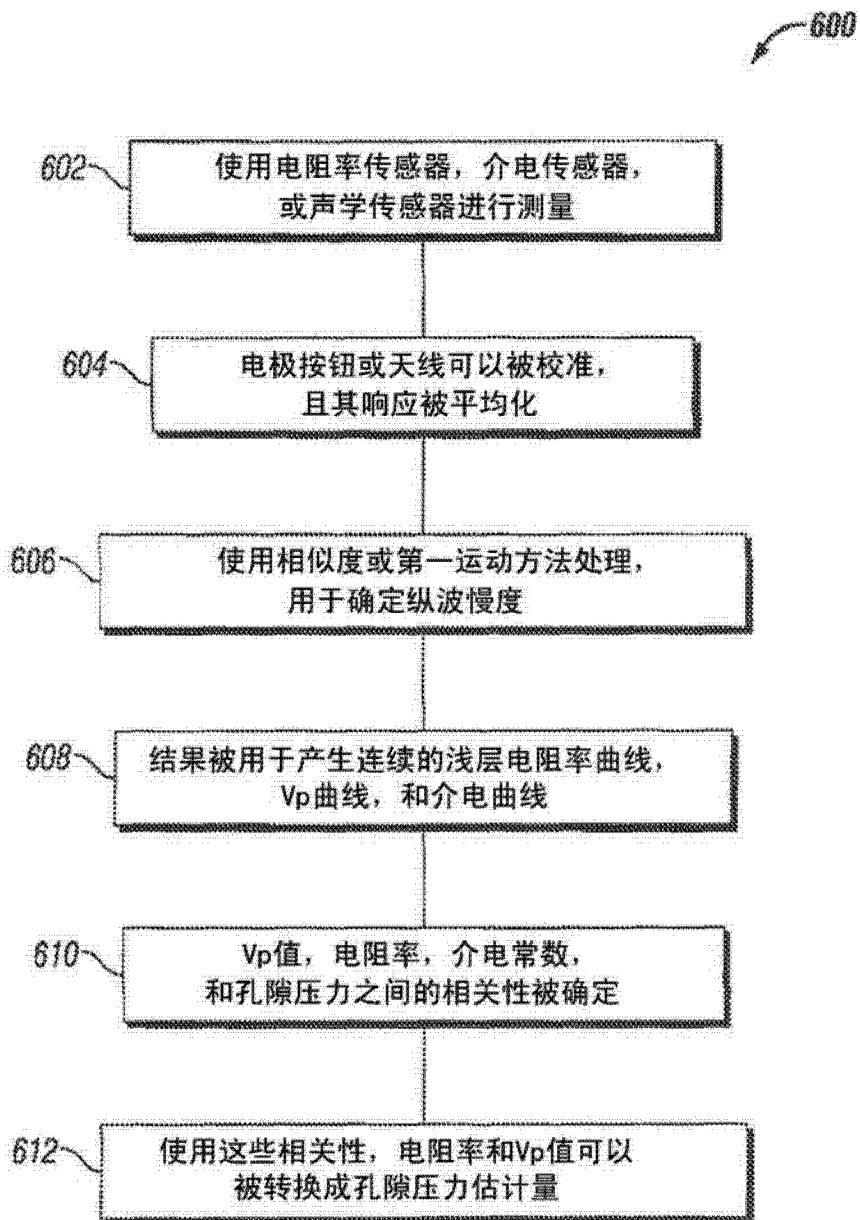


图 6

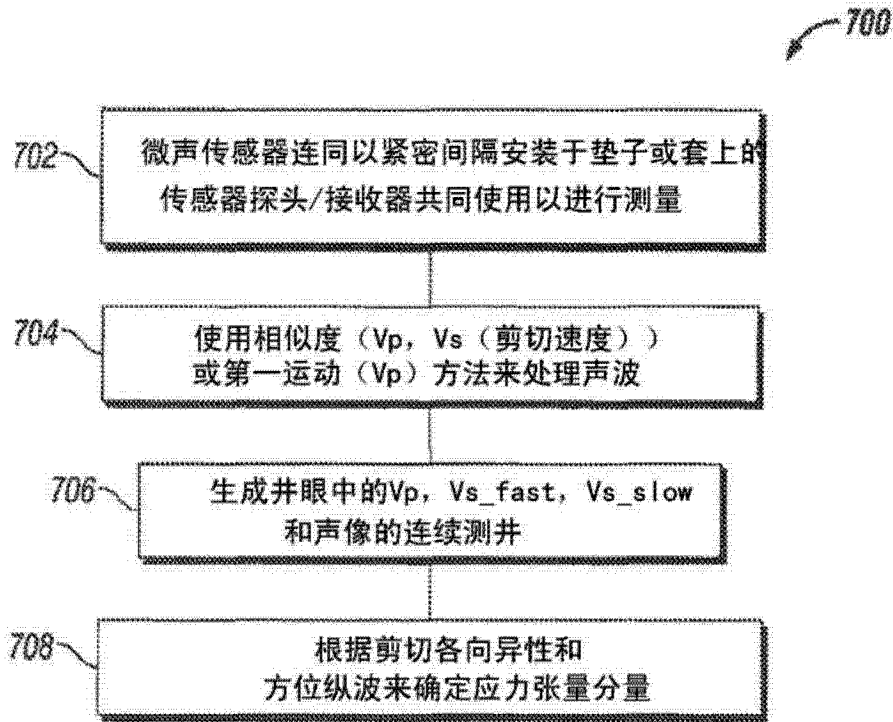


图 7

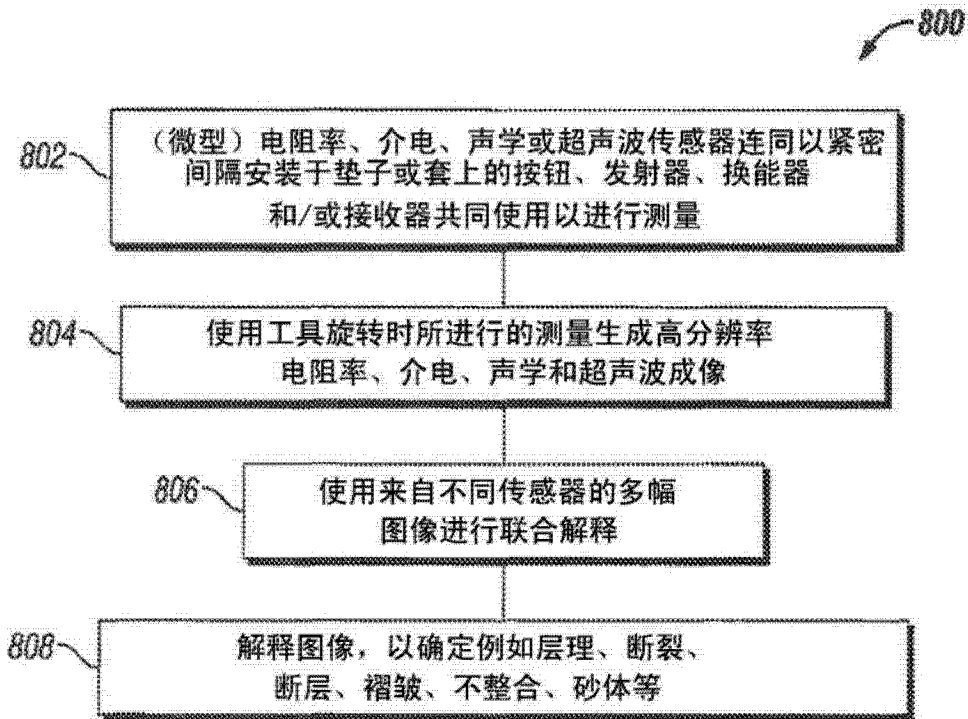


图 8

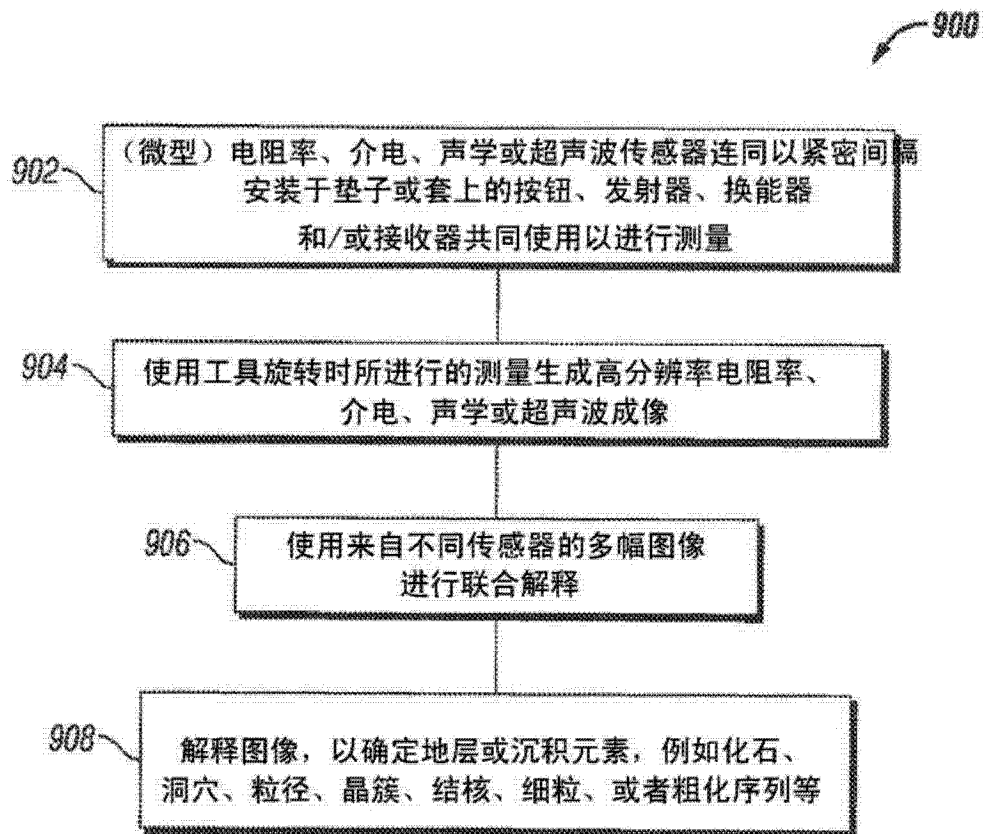


图 9

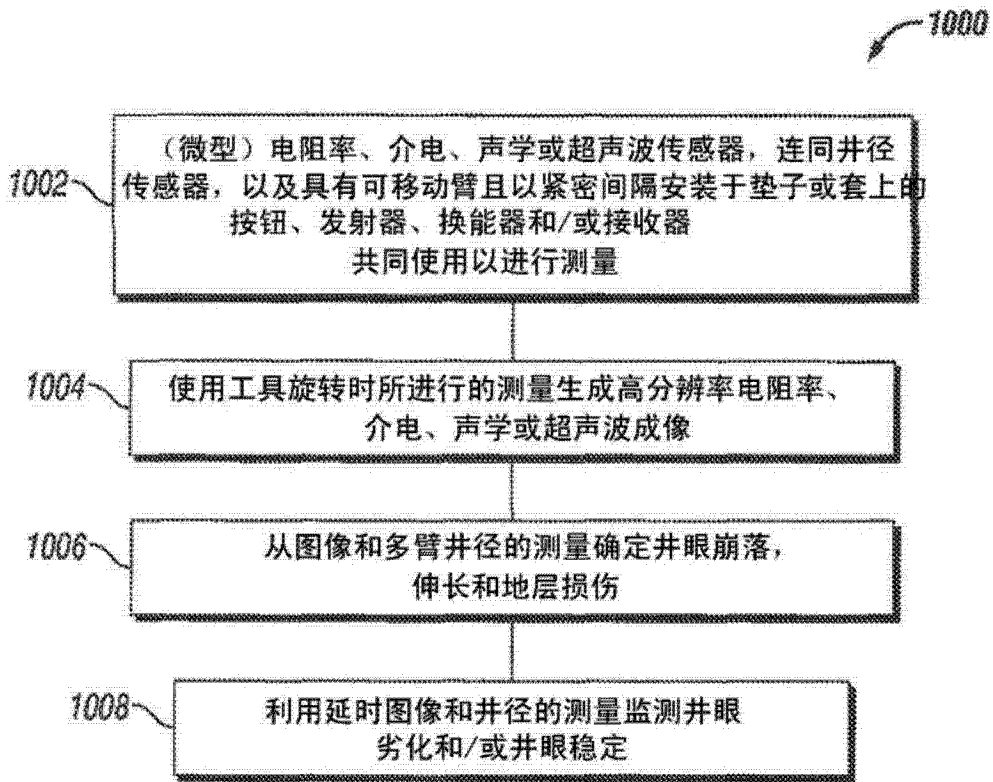


图 10

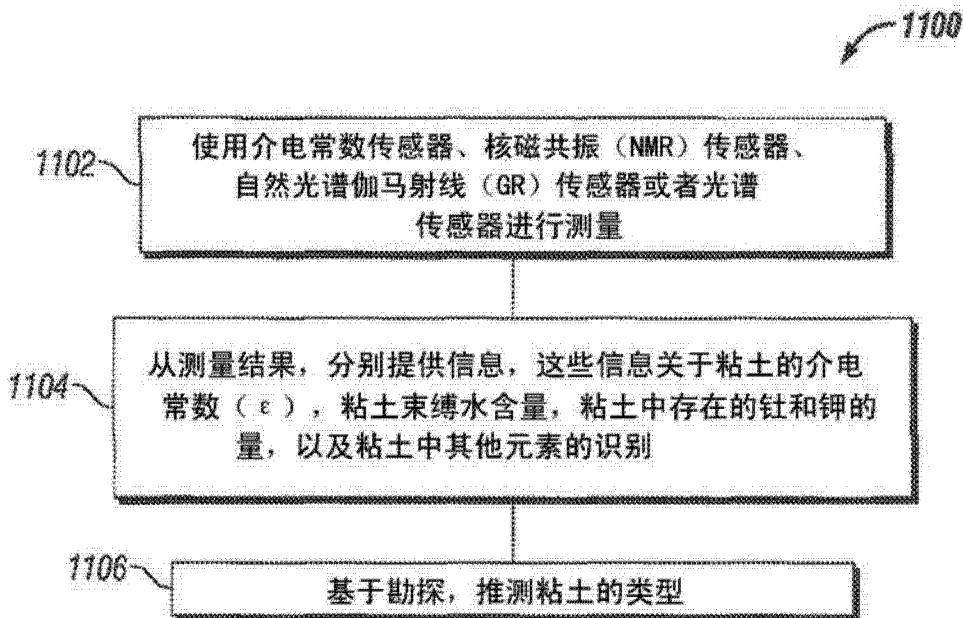


图 11

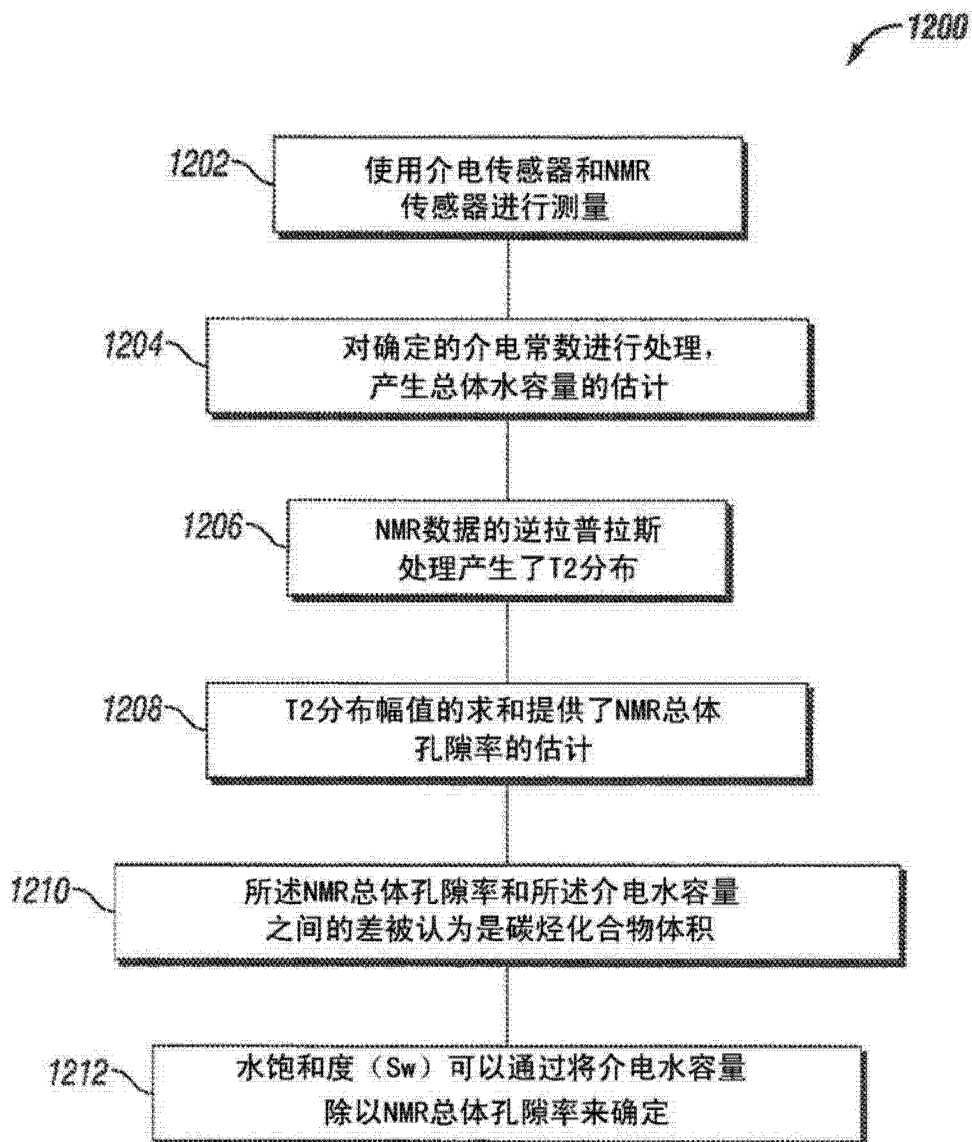


图 12

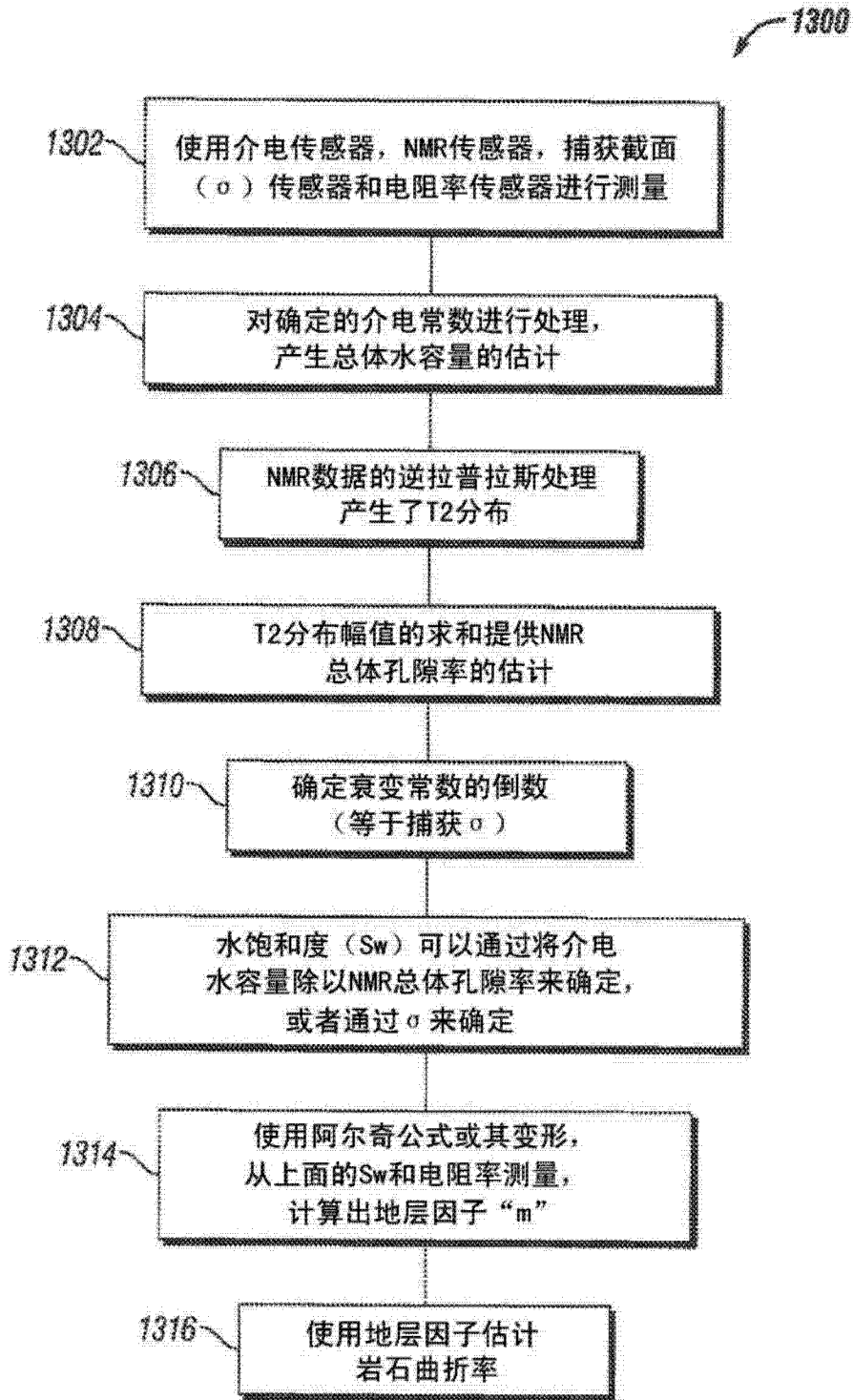


图 13

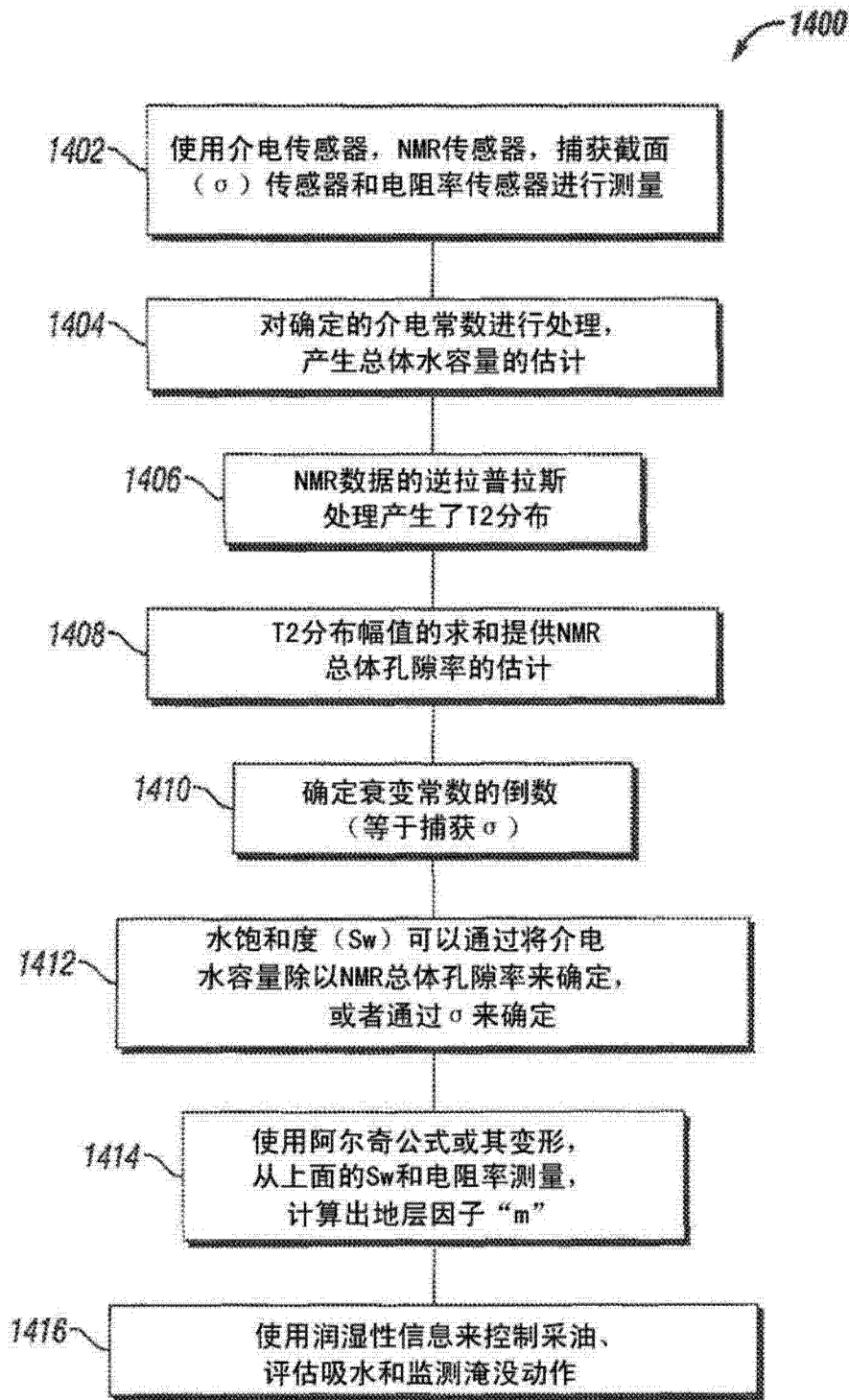


图 14

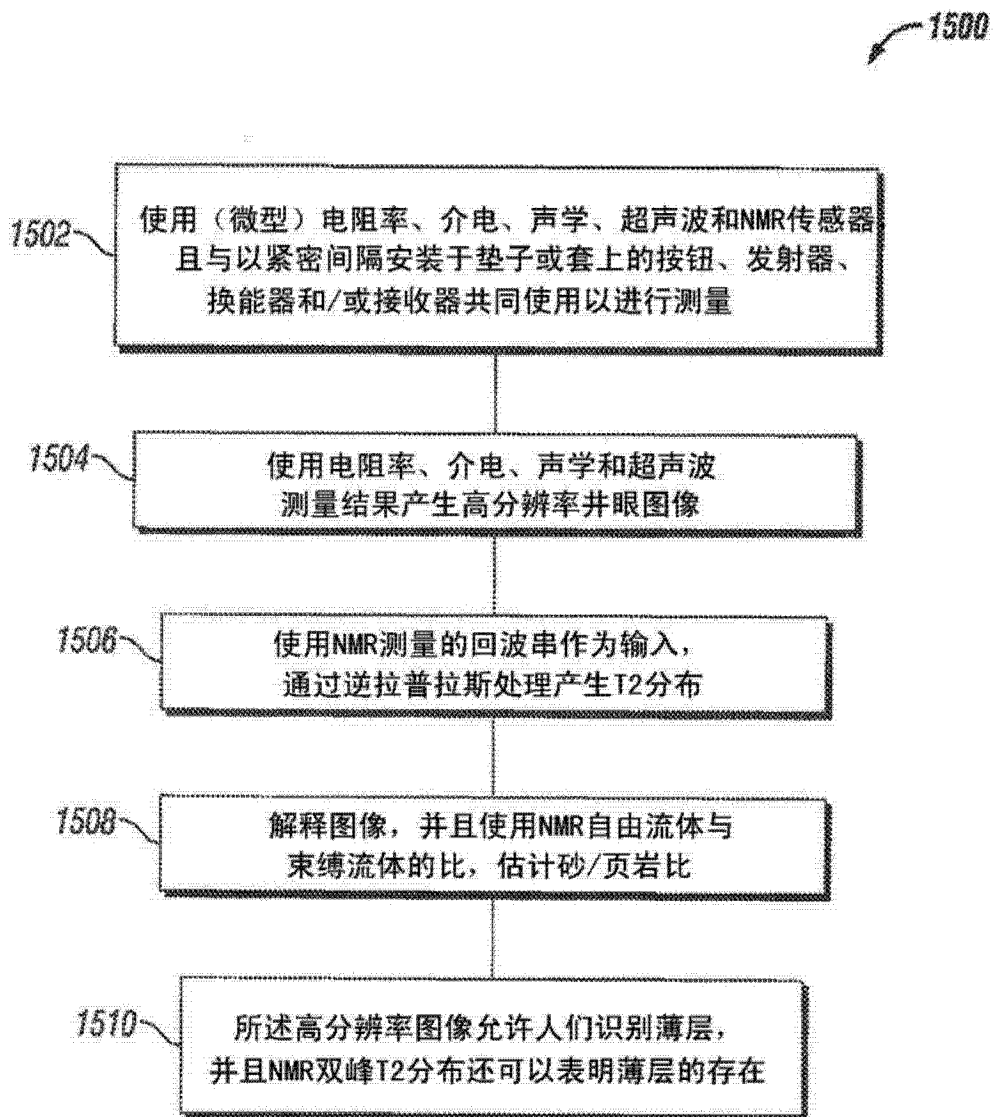


图 15



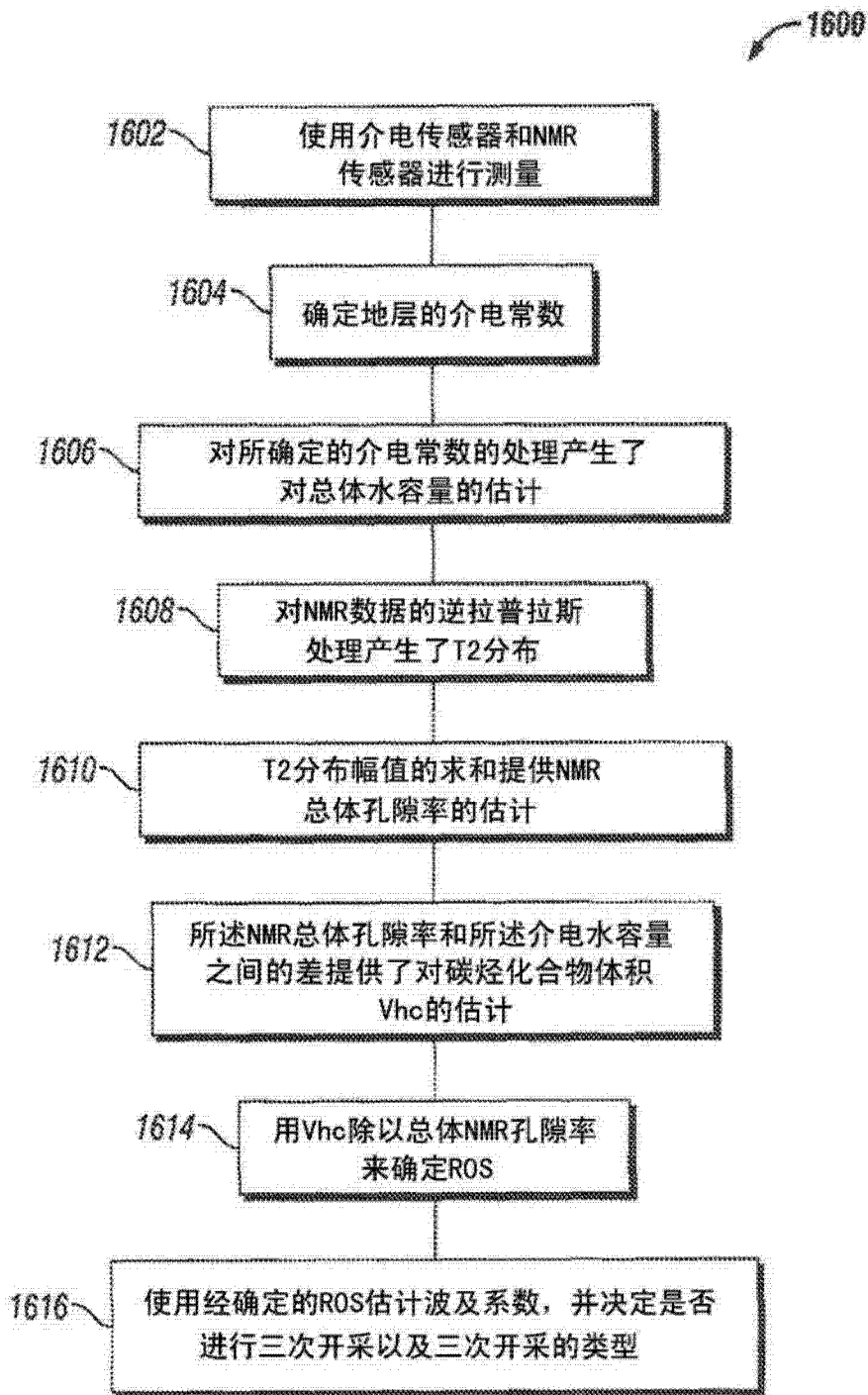


图 16

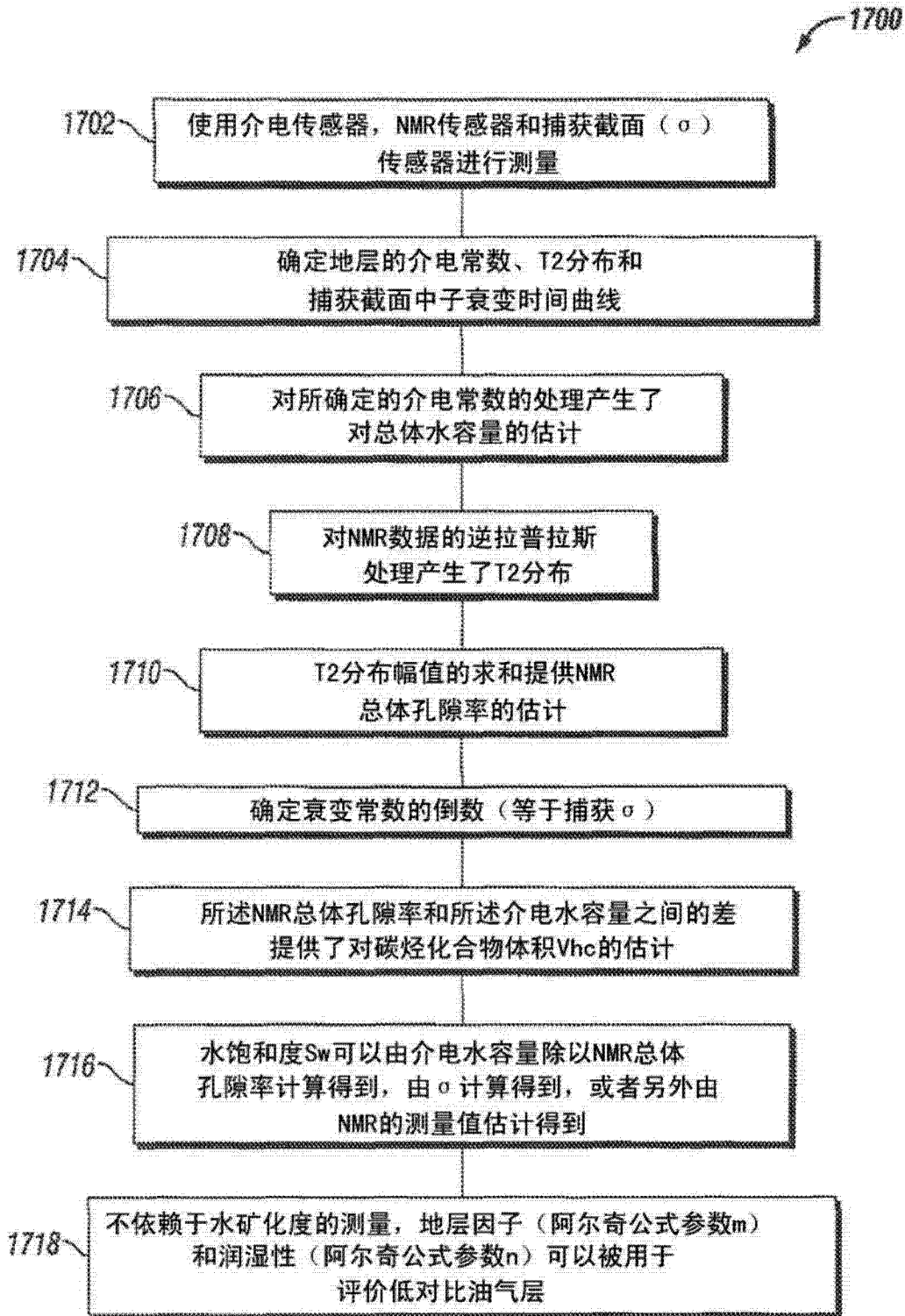


图 17

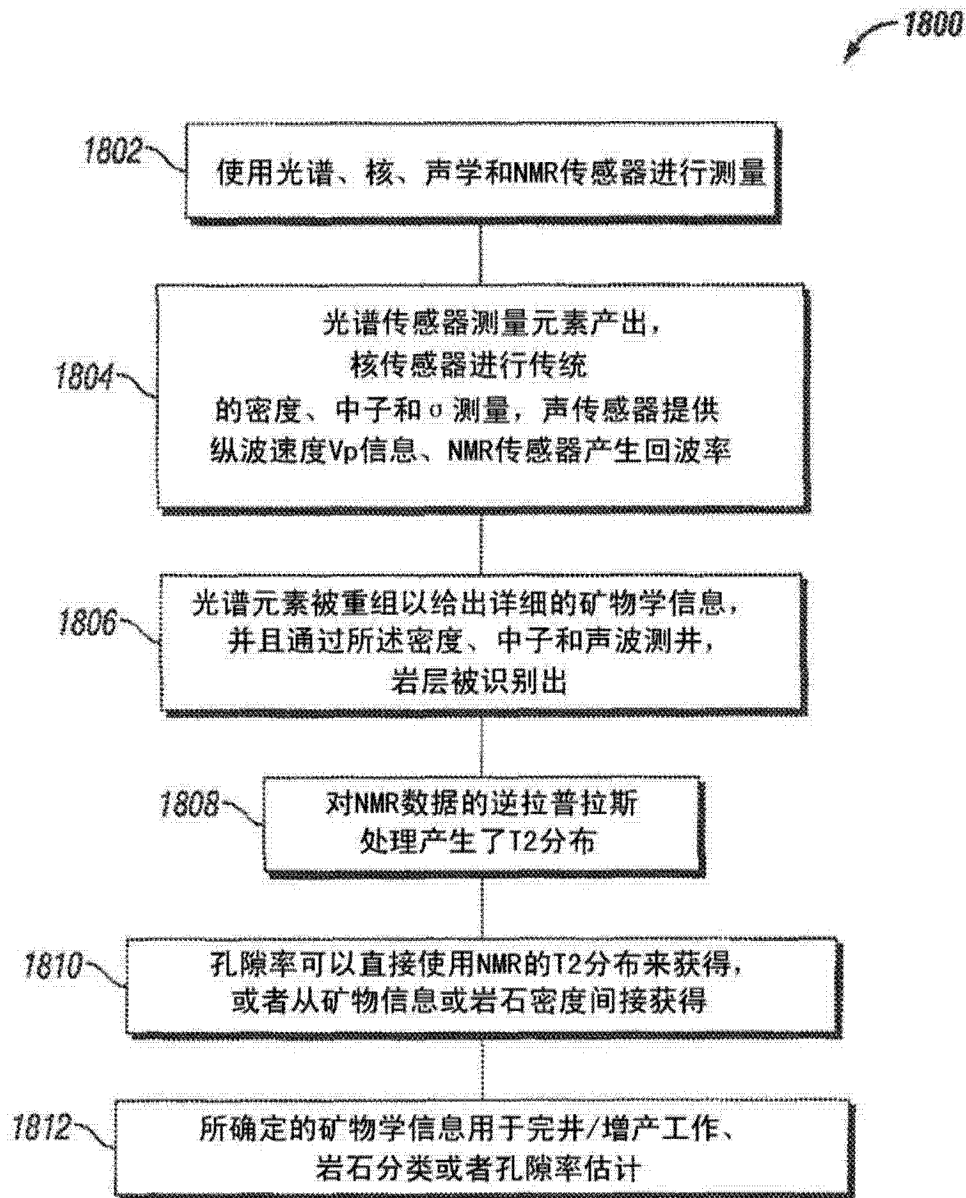


图 18