



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110462163 A

(43)申请公布日 2019.11.15

(21)申请号 201780089099.9

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2017.05.08

E21B 47/00(2012.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2019.09.27

G01V 3/26(2006.01)

G01V 3/38(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2017/031607 2017.05.08

(87)PCT国际申请的公布数据
W02018/208282 EN 2018.11.15

(71)申请人 哈利伯顿能源服务公司
地址 美国得克萨斯州

(72)发明人 宋仁成 L·潘 吴旭翔

(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

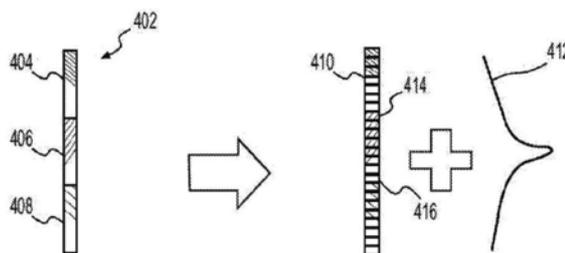
权利要求书2页 说明书9页 附图9页

(54)发明名称

用于使用地层数据的像素化解来评估地层的系统和方法

(57)摘要

一种用于评估地下地层的系统和方法以及一种在地下地层中使钻头转向的方法。所述系统包括测井工具,所述测井工具能够操作来测量地层数据并且能够定位在与所述地下地层相交的井筒中。所述系统还包括与所述测井工具通信的处理器。所述处理器能够操作来:使用所述所测量地层数据来计算多个地层边界距离(DTBB)解;标识满足阈值的DTBB解;通过将所述所标识解划分成像素来将所述所标识解转换成像素化解;基于所述像素化解来生成地层模型;并且使用所述所生成地层模型来评估所述地层。



1. 一种用于评估地下地层的系统,其包括:
测井工具,所述测井工具能够操作来测量地层数据并且能够定位在与所述地下地层相交的井筒中;以及
处理器,所述处理器与所述测井工具通信并且能够操作来:
使用所述所测量地层数据来计算多个地层边界距离(DTBB)解,
标识满足阈值的DTBB解,
通过将所述所标识解划分成像素来将所述所标识解转换成像素化解,
基于所述像素化解来生成地层模型,并且
使用所述所生成地层模型来评估所述地层。
2. 如权利要求1所述的系统,其中所述测井工具包括能够操作来测量所述地层的电阻率的电阻率测井工具。
3. 如权利要求1所述的系统,其中所述处理器能够进一步操作来基于所述像素化解确定参数的不确定性。
4. 如权利要求3所述的系统,其中所述参数的所述不确定性是基于从所述地层模型确定的所述参数的标准偏差来确定。
5. 如权利要求3所述的系统,其中所述参数的所述不确定性是基于从所述地层模型确定的水平电阻率的导数来确定。
6. 如权利要求3所述的系统,其中所述参数包括水平电阻率、各向异性比、地层的边界位置和地层倾角中的任何一者或任何组合。
7. 如权利要求3所述的系统,其中所述参数的所述不确定性是通过将滤波器应用于从所述地层模型得出的水平电阻率的导数来确定。
8. 如权利要求3所述的系统,其中所述参数的所述不确定性是通过将滤波器应用于从所述地层模型确定的水平电阻率的导数并且标识卷积导数的峰宽来确定。
9. 如权利要求1所述的系统,其中所述地层模型是通过计算所述像素化解的均值来生成。
10. 如权利要求9所述的系统,其中所述均值是通过不包括所述像素化解中的异常值像素来计算。
11. 一种评估地下地层的方法,其包括:
使用测井工具来测量与所述地下地层相交的井筒中的地层数据,
使用所述所测量地层数据来计算多个地层边界距离(DTBB)解,
标识满足阈值的DTBB解,
通过将所述所标识解划分成像素来将所述所标识解转换成像素化电阻率解,
基于所述像素化解来生成地层模型,以及
使用所述地层模型来评估所述地层。
12. 如权利要求11所述的方法,其中所述测井工具包括能够操作来测量所述地层的电阻率的电阻率测井工具。
13. 如权利要求11所述的方法,其还包括:基于所述地层模型来确定参数的不确定性。
14. 如权利要求13所述的方法,其中确定所述参数的所述不确定性包括:基于所述地层模型来计算所述参数的标准偏差。

15. 如权利要求13所述的方法,其中确定所述参数的所述不确定性包括:
计算从所述地层模型确定的水平电阻率的导数;
将卷积方法应用于所述水平电阻率的所述导数;以及
标识所述卷积导数的峰宽,其中所述参数的所述不确定性包括所述峰宽。

16. 如权利要求13所述的方法,其中所述参数包括水平电阻率、各向异性比、地层的边界位置和地层倾角中的任何一者或任何组合。

17. 如权利要求11所述的方法,其中生成所述地层模型包括:计算所述像素化电阻率解的均值。

18. 如权利要求15所述的方法,其中所述均值是通过不包括来自所述计算的所述像素化解中的异常值像素来计算。

19. 一种在地下地层中使钻头转向的方法,其包括:

使用定位在与所述地下地层相交的井筒中的测井工具来测量所述井筒中的地层数据,
基于所述所测量地层数据来计算多个地层边界距离(DTBB)解,

标识满足阈值的DTBB解,

通过将所述所标识解划分成像素来将所述所标识解转换成像素化解,

基于所述像素化解来生成地层模型,

基于所述地层模型来标识井筒轨迹,以及

根据所述井筒轨迹使钻头转向。

20. 如权利要求19所述的方法,其还包括:

基于所述地层模型来确定所述地层的参数的不确定性,其方式为:计算从所述地层模型得出的水平电阻率的导数,将卷积方法应用于所述水平电阻率的所述导数,以及标识所述卷积导数的峰宽,其中所述参数的所述不确定性包括所述峰宽。

用于使用地层数据的像素化解来评估地层的系统和方法

背景技术

[0001] 本部分意图提供相关背景信息,以便于更好地理解所描述实施方案的各个方面。因此,应当理解,这些陈述应当从这个角度进行理解,而并非作为对现有技术的承认。

[0002] 石油钻探和生产操作需要与井下参数和条件相关的大量信息。这种信息可包括井筒和钻探组件的定位和取向、地层性质和井下钻探环境参数。与地层性质和井下条件相关的信息的收集通常称为“测井”,并且可在钻探过程本身期间执行(因此,术语“随钻测井”或“LWD”经常与术语“随钻测量”或“MWD”互换使用)。

[0003] LWD应用中使用各种测量工具。一种这样的工具是电阻率工具,其包括用于接收地层响应的一个或多个天线,并且可包括用于向地层中发射电磁信号的一个或多个天线。当在低频率下操作时,电阻率工具可称为感应工具,并且在高频率下操作时,电阻率工具可称为电磁波传播工具。虽然对测量起决定作用的物理现象可能随频率变化,但工具的操作原理是一致的。在一些情况下,将所接收信号的振幅和/或相位与所发射信号的振幅和/或相位进行比较以测量地层电阻率。在其他情况下,将多个所接收信号的振幅和/或相位彼此进行比较以测量地层电阻率。

[0004] 在电磁电阻率测井工具中已经使用基于分层模型的反演来标识不同地层电阻率之间的主要边界。一维(1D)地层假设通常也用于反演,其中每个分层边界彼此平行。由于反演中使用的测量的检测范围,地层假设相当正确。一般来讲,常规电阻率测井工具的典型检测范围为约5英尺(1.5米)至10英尺(3米),并且最大检测范围为约18英尺(5.5米)。

[0005] 超深电阻率测井工具检测从工具径向向外100英尺(30.5米)范围内的地层边界,这提供了比常规测井工具深得多的检测范围。在勘测深度内,通常存在多个层,并且定性方法(诸如相关性)由于复杂性而失败。边界映射算法(诸如地层边界距离(DTBB)反演算法)用于定性地解释工具响应,并且评估地下地层以标识适于生产地层流体(诸如烃类)的地层区域。

附图说明

[0006] 参考以下附图描述本发明的实施方案。在附图中使用相同的附图标号来指代相似的特征和部件。附图中描绘的特征不一定按比例绘制。实施方案的某些特征可能以放大比例或稍微示意性的形式示出,并且为了清楚和简明起见,元件的一些细节可能未示出。

[0007] 图1描绘根据一个或多个实施方案的随钻测井环境的正视图;

[0008] 图2描绘根据一个或多个实施方案的电阻率测井工具的示意图;

[0009] 图3描绘根据一个或多个实施方案的像素化方法的图解;

[0010] 图4描绘根据一个或多个实施方案的地层模型的曲线图;

[0011] 图5描绘根据一个或多个实施方案的电阻率分布的曲线图;

[0012] 图6描绘根据一个或多个实施方案的图5的电阻率分布的不确定性的曲线图;

[0013] 图7描绘根据一个或多个实施方案的作为等高线图的电阻率不确定性的曲线图;

[0014] 图8描绘根据一个或多个实施方案的地层边界不确定性分布的曲线图;并且

[0015] 图9描绘根据一个或多个实施方案的图8的平滑不确定性分布的曲线图。

具体实施方式

[0016] 图1示出说明性LWD环境的一个或多个实施方案。钻探平台2支撑具有用于升起和降低钻柱8的游车6的井架4。顶部驱动器10在钻柱8下降通过井口12时支撑和旋转钻柱8。钻头14由井下马达和/或钻柱8的旋转来驱动。当钻头14旋转时,它致使井筒16穿过各个地层。泵18使钻井液20循环通过进料管22、通过钻柱8的内部到达钻头14。钻井液通过钻头14中的孔口离开并且向上流过钻柱8周围的环孔以将钻屑输送到地面,并且钻井液在地面处进行过滤和再循环。

[0017] 钻头14仅是井底组件24的一部分,所述井底组件24包括泥浆马达和提供重量和刚度以辅助钻探过程的一个或多个“钻铤”(厚壁钢管)。这些钻铤中的一些包括内置测井仪器以收集各种钻探参数(诸如定位、取向、钻压、井筒直径等)的测量结果。工具取向可根据工具面角度(旋转取向)、倾斜角度(斜率)和罗盘方向来指定,其中的每一者可通过磁力仪、倾斜仪和/或加速仪的测量结果得出,但也可通过替代地使用其他传感器类型(诸如陀螺仪)来得出。在一个具体的实施方案中,工具包括3轴磁通门磁力仪和3轴加速仪。如本领域所公知的,这两个传感器系统的组合使得能够测量工具面角度、倾斜角度和罗盘方向。此类取向测量可与陀螺仪或惯性测量组合,以便准确地跟踪工具位置。

[0018] 井底组件24可包括用于测量地层电阻率的装置、用于测量地层伽马射线强度的伽马射线装置、用于测量钻柱8的倾斜度和方位角的装置、用于测量井筒压力的压力传感器、用于测量井筒温度的温度传感器等。井底组件24中还包括保持与地面的通信链路的遥测接头(telemetry sub)。泥浆脉冲遥测术是一种用于将工具测量结果传送到地面接收器以及从地面接收命令的常见遥测技术,但也可使用其他遥测技术。对于一些技术(例如,穿墙声学信号传递),钻柱8包括用于检测、放大和重新发射信号的一个或多个中继器30。在地面处,换能器28在机械与电气形式之间转换信号,从而使得网络接口模块36能够从遥测接头接收上行链路信号,并且(至少在一些实施方案中)向遥测接头发射下行链路信号。

[0019] 位于地面处的计算机系统50接收数字遥测信号、解调信号,并且向用户显示工具数据或测井记录。虽然图1将计算机系统50描绘为硬连线到遥测系统,但应当理解,计算机系统50可与遥测系统无线通信。计算机系统50可包括能够执行指令的处理器和非暂态机器可读介质53(例如,ROM、EPROM、EEPROM、闪存存储器、RAM、硬盘驱动器、固态盘、光盘或其组合)。计算机系统50的处理器可包括位于地面处或井筒中的一个或多个处理器,诸如与井底组件24整合在一起的一个或多个处理器。软件(在图1中表示为非暂态机器可读介质52)管理系统50的操作。用户通过一个或多个输入装置54和55以及一个或多个输出装置56与系统50和软件52交互。在一些系统实施方案中,钻床采用系统50来做出地质导向决策(例如,修改井筒轨迹或使钻头14转向),并且向井底组件24传送适当的命令以执行这些决策。计算机系统50能够操作以执行计算或操作以评估地层、标识地层边界位置,和/或使钻头14转向,如本文进一步描述。

[0020] 图1中所示的钻柱展示定向钻探操作,其中钻探是沿着并非笔直的竖直路径的路径向下执行的。在至少一些说明性实施方案中,方向的改变使用“弯曲接头”来实现,所述“弯曲接头”是沿着钻头附近的钻柱的弯曲或弯折的管状部分。弯曲或弯折可以是固定的或

可变的,其中钻探的方向可仅由弯曲确定,或者由弯曲和钻柱的旋转的组合确定。例如,如果使用井下马达来驱动钻头和钻柱,其中固定的弯曲接头保持在固定的方位角取向,那么钻柱将朝向弯曲的方向逐渐改变方向。相反,如果这种钻柱旋转,那么钻探将沿着与弯曲上方的钻柱部分平行的线行进,并且钻头围绕所述线前进。

[0021] 对于能够改变弯曲接头的角度的钻柱,将接头设定到所需角度和方向,而钻柱保持在所需固定方位角取向,其中钻头由井下马达驱动。这有时称为“滑动钻探”,因为钻柱滑动通过井筒而无需旋转。在其他钻柱实施方案中,钻柱继续旋转,并且通过在特定方向上对钻柱施加力来保持弯曲接头的角度。这导致接头被推入与所需钻探方向相对的井筒壁中,从而在钻柱管和/或井底组件单元之间形成到接头的任一侧的角度。此类系统有时称为旋转可导向系统。

[0022] 由于上述在定向钻探中使用的接头和系统引入的角度变化,并且由于所得井筒产生的钻柱的弯曲,沿着钻柱的长度定位的测井工具接头可在不同的方向上取向。这对于在深部地层评估中使用的测井工具(即,其中发射器天线与接收器天线分开至少20英尺的工具)尤其如此,因为这种工具中使用的发射天线和接收天线可容纳在测井工具接头中,所述测井工具接头分开较大距离(与其他测井工具相比)以便实现所发射信号的所需地层穿透。测井工具接头之间的距离越大,遍历弯折的或者不是直线的井筒路径的钻柱部分之间的倾斜和撞击角度差异就越大。如本文所用,容纳天线的LWD工具接头的倾斜角度被定义为竖直z轴与所述天线所在的钻柱z轴之间的角度。撞击角度被定义为正交于z轴的参考向量与到天线所在的钻柱z轴的水平x-y平面上的投影之间的角度。

[0023] 图2示出根据一个或多个实施方案的深电阻率测井工具200的示意图。电阻率测井工具200可与图1的井底组件24包括在一起,并且包括沿着钻柱位于不同定位和取向的两个LWD工具接头202和206。电阻率测井工具接收天线212和对应的接收天线位置测量装置222a容纳在LWD工具接头202内,而电阻率测井工具发射天线216和对应的发射天线位置测量装置222b(“钻头处”仪器的部件)容纳在LWD工具接头206内并且更靠近钻头208。位置测量装置222a、222b定位每个对应天线的位置,其可例如根据以下项来表示:每个天线的倾斜角度(θ_r 和 θ_t ,分别相对于 z_r 和 z_t 轴;通常是固定和已知的)、每个天线的方位角(α_r 和 α_t ,相对于x轴)、每个LWD工具接头的倾斜角度(ϕ_r 和 ϕ_t),以及天线之间的距离 d' 。可使用各种方法来定位天线位置(例如,相对于地面上的参考位置)。应当注意,尽管弯曲接头角度通常小于5度,但所示的图示具有显著得多的角度,以便更好地说明角度对天线的相对空间定位的影响,这在下文更详细地描述。

[0024] 与图1的计算机系统50通信的电阻率测井工具200用于测量地层数据,所述地层数据用于评估地层和/或确定生产地层流体(诸如烃流体)的井筒轨迹。应当理解,电阻率测井工具200是用于测量地层数据的示例性工具,并且可使用其他合适的测井工具。另外,其他电阻率测井工具可采用不同的天线配置来评估地层。

[0025] 所测量地层数据可用于生成地层的电阻率模型,并且确定包括在地层数据中或从地层数据确定的参数的不确定性。电阻率模型可用于标识地层之间的边界位置,并且确定生产地层流体的井筒轨迹。参数的不确定性指示特定参数的合适值范围,诸如电阻率值或地层的边界位置的不确定性。例如,边界位置的不确定性提供了地层边界可位于何处以及所述地层边界位置可变化的程度的指示。如本文所用,参数的不确定性是指参数的合适值

范围或用于量化参数变化(例如,标准偏差)的度量。参数可包括水平电阻率、竖直电阻率、电导率、各向异性比、地层的边界位置和地层倾角中的任何一者或任何组合。

[0026] 图3示出根据一个或多个实施方案的使用由图2的电阻率测井工具200测量的地层数据来生成地层模型的方法300的流程图。在框302处,使用DTBB反演方法来使用地层数据生成DTBB解。在框304处,过滤DTBB解以产生最配合所测量地层数据的DTBB解。在框306处,将过滤解转换成像素化解,如本文进一步描述的。像素化解提供了分析表示不同地层数的DTBB解的有效方式。在框308处,可使用像素化解的平均值来生成概括DTBB解的地层模型。在框310处,可使用地层模型来评估地层、形成井筒轨迹,或使钻头转向以生产地层流体。

[0027] 在框302处,为了生成地层的电阻率模型,将多个猜测应用于DTBB反演方法,以提供最配合所测量地层数据的多个DTBB解。DTBB反演是以对一个或多个地层的多个随机初始猜测运行的。在框304处,在反演之后,通过与所测量地层数据的失配程度来标识可能包括数百个解的DTBB解。可标识满足阈值(例如,最小残差解)的DTBB解以进行进一步处理。选择与地层测量结果最配合的DTBB解作为最终解。DTBB反演和解选择过程在电阻率测井工具的每个测井点或测量深度上重复进行。

[0028] 在框306处,一旦标识出解,就将解转换成像素化解,其将解划分成表示特定真正竖直深度(TVD)或TVD范围(这取决于像素宽度)处的一个或多个地层参数值的像素。例如,图4示出根据一个或多个实施方案的将包括三个不同地层(404、406和408)的反演解302转换成像素化解410的图解。反演解402是提供三个不同地层的3层解。可将每个所标识解分成随真正竖直深度变化的像素,所述像素包括地层参数信息(例如,水平电阻率、竖直电阻率、电导率、各向异性比和地层倾角)。每个像素可具有沿TVD方向恒定的宽度,并且因此,像素表示特定TVD或TVD范围(这取决于沿TVD方向的像素宽度)处的一个或多个地层参数。加权函数412也可应用于像素以调整某些像素的值并且补偿像素化解中的任何不确定性。例如,可调整远离工具位置的像素(其对电阻率边界不太敏感)以解决不确定性。一旦转换成像素化解,就由位于电阻率对比414和416的边界处的像素隐式地表示边界位置。因此,像素化解提供了分析具有不同层数的DTBB解的有效方式,如本文进一步描述。可替代地,也可将诸如P5、P50或P95的统计分析应用于像素以生成最终的像素化反演解。

[0029] 可使用针对每个测量深度和TVD或TVD范围的像素的模型平均值来概括像素化解。因此,在框308处,可使用模型平均方案来生成像素化DTBB解的地层模型。数学均值(包括代数、几何或调和均值):

$$[0030] \quad H = \frac{1}{n \sum_{i=1}^n x_i}, \quad H = \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{1/n}, \quad \frac{1}{H} = 1/n \sum_{i=1}^n 1/x_i$$

[0031] 可应用于所选解以计算地层模型,其中H是均值,并且 $\{x_i\}$ 是特定测量深度和TVD或TVD范围(这取决于像素宽度)的像素化解的像素。

[0032] 图5示出根据一个或多个实施方案的使用合成DTBB地层数据生成的地层模型500的曲线图。地层模型500是每个测量深度的像素化解的调和模型平均值。地层模型500将每个测量深度的数百个反演解压缩成单个图形,并且提供有效的数据组以评估地层。如图所示,曲线图是随测量深度(x轴)相对于真正竖直深度(y轴)变化的水平电阻率(ohm-m)的等高线图。每个测量深度是像素化解的调和平均值。在框310处,可形成穿透适于生产地层流

体(诸如烃类)的一个或多个地层的井筒轨迹502。电阻率的对比(404和406)表明,地层之间的地层边界位置包括不同的地层性质,诸如页岩、石灰岩、砂岩、含气砂岩、含油石灰岩等。地层模型400中标识的地层的边界位置可用于使钻头朝向合适的地层转向,或标识穿透用于生产的一个或多个地层(诸如适于生产地层流体的地层)的井筒轨迹402。例如,井筒轨迹402可被标识为主要在基于电阻率的对比404和406标识的地层边界位置之间前进。

[0033] 各种数学手段提供了对地层模型的不同解释。例如,代数手段直接以ohm-m计算电阻率的均值。几何手段以电阻率的对数刻度计算均值。代数手段和几何手段是可以突出具有大电阻率值的模型的数学手段。调和手段计算电导率的均值,然后将平均电导率转换成电阻率。对于基于感应的电阻率LWD工具,通常使用调和手段,因为所述工具对电导率而非电阻率敏感。因此,当从感应测井工具的测量结果计算均值时,可以突出显示具有大电导率的像素。用各种数学手段计算的均值之间的差异也可表示参数不确定性。

[0034] 还可通过不将像素化解中的异常值像素包括在均值计算中来计算模型平均值。如果像素被认为是异常值,那么在取平均值之前,可从解集去除来自像素化解的一个或多个像素(例如,一组像素或整个像素化解)。如本文所用,异常值像素可以是未能满足阈值或条件的像素。应当理解,用于标识异常值像素的参数可以是地层参数中的任何一者或任何组合,包括水平电阻率、竖直电阻率、电导率、各向异性比和地层倾角。

[0035] 具有用于丢弃异常值像素的细化过程的均值的一个实例是截尾均值,其在丢弃概率分布的给定部分或像素中的最高和/或最低值处的样本(例如,针对特定TVD和测量深度的像素)之后计算均值。针对特定TVD和测量深度对像素进行排序,并且丢弃给定百分比的最高值和最低值(例如,最高和最低20%)内的像素。最高百分比和最低百分比可充当用于细化像素化解的阈值。仅对保留的像素求平均以定义最终解,例如,地层的电阻率模型。

[0036] 细化过程的另一个实例是可使用标准偏差作为标识异常值像素的阈值。满足以下表达式的像素可用作丢弃异常值并计算均值的条件:

$$[0037] \quad I = |x_i - H| \leq c \cdot S$$

[0038] 其中c是系数(例如,0.5),S是特定的真正竖直深度和测量深度的像素解的标准偏差,并且I是满足与像素(x_i)的均值(H)的绝对差小于或等于加权标准差的条件的像素集。同样地,与满足单独阈值的均值的绝对差也可用作在计算模型平均值时过滤异常值像素的条件。

[0039] 标准偏差S也可用于确定包括在最终地层模型中基于像素化解的均值计算的参数的不确定性。标准偏差S由以下表达式给出:

$$[0040] \quad S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - H)^2}$$

[0041] 其中H是像素化解中的平均像素,其可以使用如上文所讨论的各种数学手段(例如,代数、几何或调和手段)来计算。如上文所讨论,参数的不确定性提供了参数的值(例如,水平电阻率或地层倾角)可变化的程度的指示。

[0042] 图6示出根据一个或多个实施方案的电阻率分布600的曲线图。电阻率分布600是基于图5中使用的相同合成DTBB地层数据的在特定测量深度(20,979英尺/6394米)处的水

平电阻率的像素化解的平均值。电阻率分布600通过确定对应TVD或TVD范围(这取决于像素宽度)的像素化解的平均值来生成。电阻率分布600被描绘为随真正垂直深度而变化,并且可被视为从图5中描绘的平均水平电阻率的特定测量深度(20,979英尺/6394米)获取竖直切片。类似于图5,电阻率分布600可用于标识电阻率对比602和604的TVD处的地层边界。

[0043] 图7示出根据一个或多个实施方案的从像素化解确定的电阻率分布700的不确定性的曲线图。电阻率分布700的不确定性是图6中描绘的电阻率分布的标准偏差。如图所示,不确定性分布700是特定测量深度(20,979英尺/6394米)处的真正垂直深度的函数,并且提供针对特定TVD或TVD范围(这取决于像素宽度)的电阻率的合适值范围的指示。不确定性分布700还可用于标识地层边界位置,这进而有助于形成井筒轨迹或使钻头朝向适于生产地层流体的地层转向。

[0044] 图8示出根据一个或多个实施方案的电阻率不确定性800的曲线图。电阻率不确定性800是基于图5中使用的相同合成DTBB地层数据的水平电阻率的像素化解的标准偏差。水平电阻率的标准偏差700被描绘为随测量深度(x轴)与真正垂直深度(y轴)变化的水平电阻率的等高线图。如图所示,可形成穿透适于生产地层流体(诸如烃类)的一个或多个地层的井筒轨迹802。不同地层之间的边界位置可通过标识电阻率不确定性的对比区域(804和806)使用电阻率不确定性800的等高线图来标识。标准偏差还可用于确定其他参数的不确定性,包括但不限于竖直电阻率、电导率、各向异性比和地层倾角。

[0045] 由于边界位置是基于电阻率像素之间的对比隐式地表示,如图5和图6所描绘,因此还可以使用以下的一阶导数 g :水平电阻率 R_h 来标识边界位置:

$$[0046] \quad g = D(R_h)$$

[0047] 其中 D 表示微分运算符。水平电阻率的导数 g 在地层内接近零,而导数 g 的峰值(局部最小值或最大值)指示边界位置。峰值阈值可用于丢弃导数中的小振荡和边界位置的不准确指示。导数 g 还可在确定边界位置的不确定性之前进行平滑化,以增强对边界位置的不确定性的确定。例如,导数 g 可通过应用滤波器进行平滑化,包括但不限于由以下表达式给出的卷积:

$$[0048] \quad \frac{\partial}{\partial x}(R_h * u) = \frac{\partial R_h}{\partial x} * u$$

[0049] 其中 $*$ 是卷积运算符, R_h 是平均水平电阻率像素, x 是真正垂直深度的像素,并且 u 是平滑函数。导数 g 还可通过应用其他合适的平滑滤波器进行平滑化,包括但不限于高斯滤波器(Gaussian filter)。

[0050] 边界位置的不确定性可通过导数 g 中找到的峰宽来标识。边界不确定性包括但不限于全峰宽或小于全峰宽的值(例如,半宽)。如果平均水平电阻率包括电阻率的鲜明对比,那么边界不确定性可能相对小,因为像素化解指示相同或类似的边界位置。另一方面,如果平均水平电阻率逐渐改变,那么边界不确定性可能大,从而指示像素化解中的边界位置的大的变化。

[0051] 图9示出根据一个或多个实施方案的边界不确定性分布800的曲线图。边界不确定性分布900通过计算图6中描绘的电阻率分布600的一阶导数来确定。边界不确定性分布900被描绘为类似于图6和图7的分布随真正垂直深度而变化。局部最大值和最小值指示潜在边界位置的定位。边界位置可用于形成穿透适于生产地层流体(诸如烃类)的地层的井筒轨

迹。

[0052] 图10示出根据一个或多个实施方案的平滑不确定性分布1000的曲线图。平滑不确定性分布1000通过使用如上文所讨论的卷积平滑函数 u 对边界不确定性分布进行过滤来生成。在平滑化之后,边界位置可被标识为平滑不确定性分布中的局部最大值和最小值(1002和1006)。边界位置不确定性可被标识为每个峰的宽度1002或标识为小于峰宽的值(例如,半峰宽)。边界位置不确定性提供了可能存在边界位置的TVD范围。类似于图8中描绘的等高线图,还可形成边界不确定性的等高线图以评估地层并且标识边界位置。

[0053] 在框310处,使用如上文所讨论的各种曲线图(图5至图9)或平均像素化解来标识的边界位置也可用于评估地层、标识井筒轨迹和/或使钻头(例如,图1的钻头14)转向通过适于生产地层流体的地层或朝向适于生产地层流体的地层转向。例如,适于生产地层流体的地层可存在于图10中描绘的峰1002与峰1004之间。除了指示边界位置的定位的峰1002和峰1004之外,边界位置不确定性由峰1002和峰1004的宽度指示。峰1002和峰1004的宽度指示也可能存在边界位置的TVD范围。可使钻头转向以在峰1002和峰1004的峰宽之间通过或者可形成在峰1002和峰1004的峰宽之间通过的井筒轨迹。

[0054] 应当理解,本文描述的系统和方法提供了必须植根于井下深电阻率测井工具的解决方案,以便克服由用于从使用深电阻率测井工具测量的地层数据来确定地层性质的反演方法特别引起的问题。使用来自深电阻率测井工具的地层数据的反演方法可提供针对电阻率测井工具的单个测量深度的数百个解,从而在评估反演解时提出问题,诸如标识指示地层性质和对应的不确定性的地层模型。本文描述的方法和系统使用像素化解的均值来概括反演解以评估地层、标识井筒轨迹和/或使钻头转向以生产地层流体。

[0055] 除了上述实施方案之外,特定组合的许多实施例都在本公开的范围之内,下文详述所述实施例中的一些:

[0056] 实施例1:一种用于评估地下地层的系统,其包括:

[0057] 测井工具,所述测井工具能够操作来测量地层数据并且能够定位在与所述地下地层相交的井筒中;以及

[0058] 处理器,所述处理器与所述测井工具通信并且能够操作来:

[0059] 使用所述所测量地层数据来计算多个地层边界距离(DTBB)解,

[0060] 标识满足阈值的DTBB解,

[0061] 通过将所述所标识解划分成像素来将所述所标识解转换成像素化解,

[0062] 基于所述像素化解来生成地层模型,并且

[0063] 使用所述所生成地层模型来评估所述地层。

[0064] 实施例2:如实施例1所述的系统,其中所述测井工具包括能够操作来测量所述地层的电阻率的电阻率测井工具。

[0065] 实施例3:如实施例1所述的系统,其中所述处理器能够进一步操作来基于所述像素化解来确定参数的不确定性。

[0066] 实施例4:如实施例3所述的系统,其中所述参数的所述不确定性是基于从所述地层模型确定的参数的标准偏差来确定。

[0067] 实施例5:如实施例3所述的系统,其中所述参数的所述不确定性是基于从所述地层模型确定的水平电阻率的导数来确定。

[0068] 实施例6:如实施例3所述的系统,其中所述参数包括水平电阻率、各向异性比、地层的边界位置和地层倾角中的任何一者或任何组合。

[0069] 实施例7:如实施例3所述的系统,其中所述参数的所述不确定性是通过将滤波器应用于从所述地层模型得出的水平电阻率的导数来确定。

[0070] 实施例8:如实施例3所述的系统,其中所述参数的所述不确定性是通过将滤波器应用于从所述地层模型确定的水平电阻率的导数并且标识所述卷积导数的峰宽来确定。

[0071] 实施例9:如实施例1所述的系统,其中所述地层模型是通过计算所述像素化解的均值来生成。

[0072] 实施例10:如实施例9所述的系统,其中所述均值是通过不包括所述像素化解中的异常值像素来计算。

[0073] 实施例11:一种评估地下地层的方法,其包括:

[0074] 使用测井工具来测量与所述地下地层相交的井筒中的地层数据,使用所述所测量地层数据来计算多个地层边界距离(DTBB)解,

[0075] 标识满足阈值的DTBB解,

[0076] 通过将所述所标识解划分成像素来将所述所标识解转换成像素化电阻率解,

[0077] 基于所述像素化解来生成地层模型,以及

[0078] 使用所述地层模型来评估所述地层。

[0079] 实施例12:如实施例11所述的方法,其中所述测井工具包括能够操作来测量所述地层的电阻率的电阻率测井工具。

[0080] 实施例13:如实施例11所述的方法,其还包括:基于所述地层模型来确定参数的不确定性。

[0081] 实施例14:如实施例13所述的方法,其中确定所述参数的所述不确定性包括:基于所述地层模型来计算所述参数的标准偏差。

[0082] 实施例15:如实施例13所述的方法,其中确定所述参数的所述不确定性包括:

[0083] 计算从所述地层模型确定的水平电阻率的导数;

[0084] 将卷积方法应用于所述水平电阻率的所述导数;以及

[0085] 标识所述卷积导数的峰宽,其中所述参数的所述不确定性包括所述峰宽。

[0086] 实施例16:如实施例13所述的方法,其中所述参数包括水平电阻率、各向异性比、地层的边界位置和地层倾角中的任何一者或任何组合。

[0087] 实施例17:如实施例11所述的方法,其中生成所述地层模型包括:计算所述像素化电阻率解的均值。

[0088] 实施例18:如实施例15所述的方法,其中所述均值是通过不包括来自所述计算的所述像素化解中的异常值像素来计算。

[0089] 实施例19:一种在地下地层中使钻头转向的方法,其包括:

[0090] 使用定位在与所述地下地层相交的井筒中的测井工具来测量所述井筒中的地层数据,

[0091] 基于所述所测量地层数据来计算多个地层边界距离(DTBB)解,

[0092] 标识满足阈值的DTBB解,

[0093] 通过将所述所标识解划分成像素来将所述所标识解转换成像素化解,

[0094] 基于所述像素化解来生成地层模型，

[0095] 基于所述地层模型来标识井筒轨迹，以及

[0096] 根据所述井筒轨迹使钻头转向。

[0097] 实施例20:如实施例19所述的方法，其还包括：

[0098] 基于所述地层模型来确定所述地层的参数的不确定性，其方式为：计算从所述地层模型得出的水平电阻率的导数，将卷积方法应用于所述水平电阻率的所述导数，以及标识所述卷积导数的峰宽，其中所述参数的所述不确定性包括所述峰宽。

[0099] 本讨论涉及本公开的各种实施方案。这些附图不一定按比例绘制。实施方案的某些特征可能以放大比例或稍微示意性的形式示出，并且为了清楚和简明起见，常规元件的一些细节可能未示出。虽然这些实施方案中的一个或多个可能是优选的，但所公开的实施方案不应被解释为或以其他方式用作限制本公开(包括权利要求)的范围。应完全认识到，可单独地或以任何合适的组合采用所讨论实施方案的不同教义以产生期望的结果。此外，本领域技术人员将理解，描述具有广泛的应用，并且对任何实施方案的讨论仅仅意图作为所述实施方案的实例，而不意图暗示本公开(包括权利要求)的范围限于所述实施方案。

[0100] 贯穿说明书和权利要求使用了某些术语来指代特定的特征或部件。如本领域技术人员将理解，不同的人可能用不同名称来指代相同的特征或部件。除非特别说明，否则本文件不意图区分名称不同但功能相同的部件或特征。在论述和权利要求中，术语“包括”和“包含”是以开放的方式使用的，并且因此应当解释为意指“包括但不限于……”。另外，术语“联接”或“耦接”意图意指间接或直接连接。此外，术语“轴向”和“轴向地”通常意指沿着中心轴线或平行于中心轴线(例如，主体或端口的中心轴线)，而术语“径向”和“径向地”通常意指垂直于中心轴线。为了方便起见，使用“顶部”、“底部”、“上方”、“下方”和这些术语的变型，但是并不要求部件的任何特定取向。

[0101] 贯穿本说明书对“一个实施方案”、“实施方案”或类似语言的引用意指结合实施方案描述的特定的特征、结构或特性可包括在本公开的至少一个实施方案中。因此，贯穿本说明书出现的短语“在一个实施方案中”、“在实施方案中”和类似的语言可指代但不一定全部指代同一实施方案。

[0102] 尽管已经关于具体细节描述了本发明，但是除了它们被包括在所附权利要求中的程度之外，这些细节不应被认为是对本发明的范围的限制。

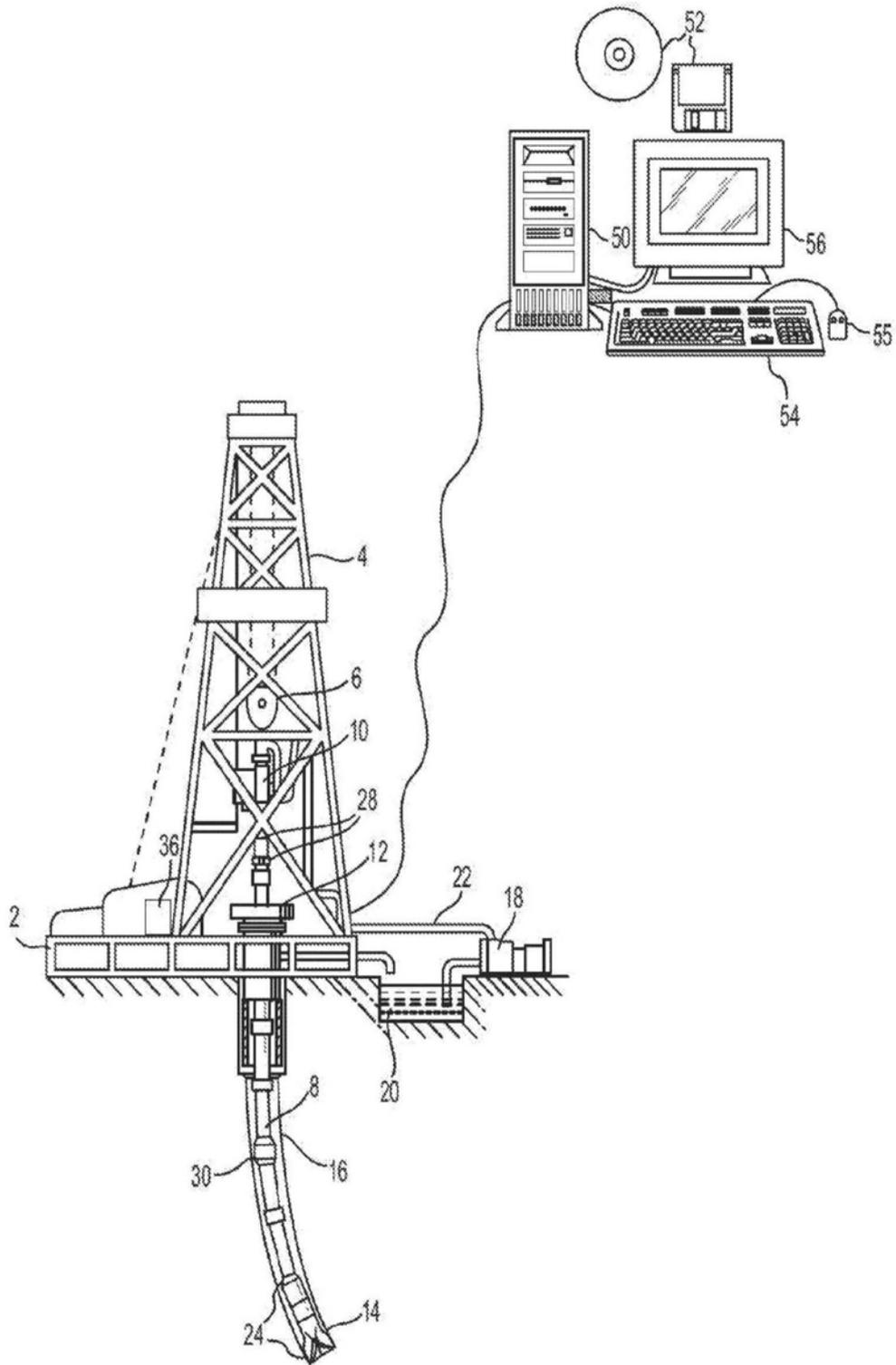


图1

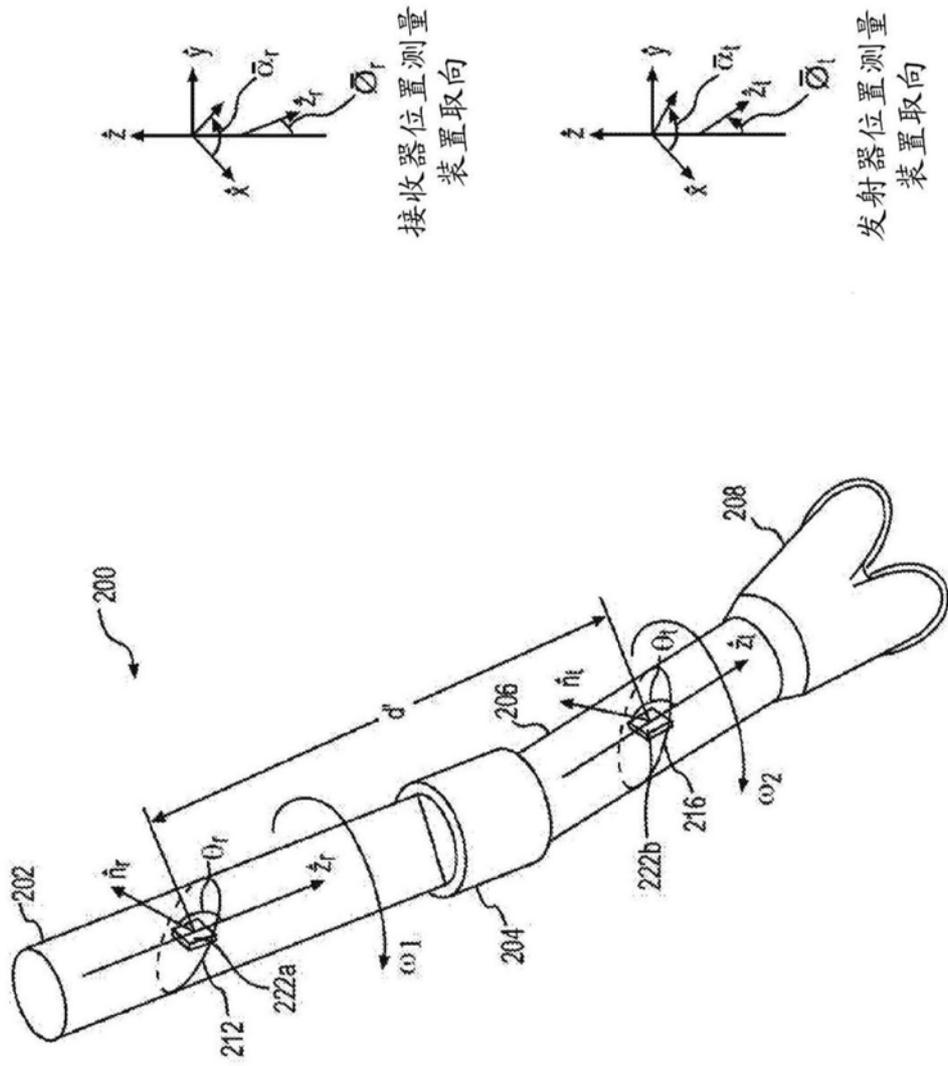


图2

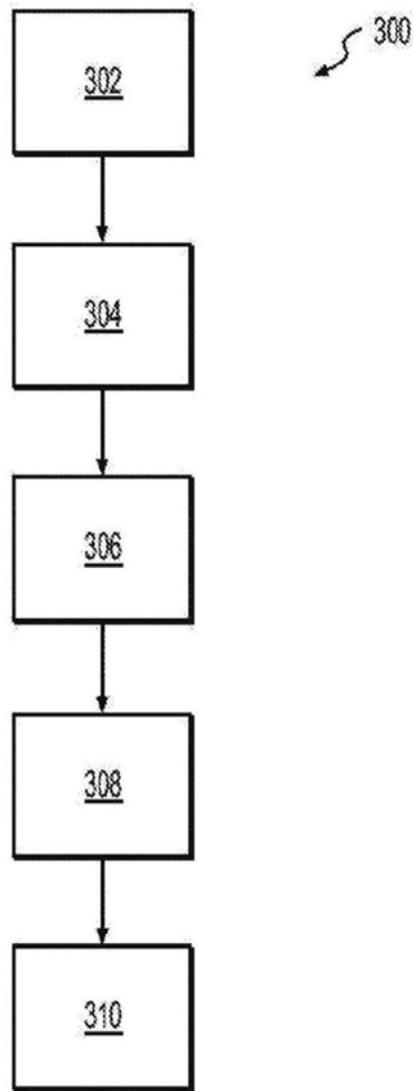


图3

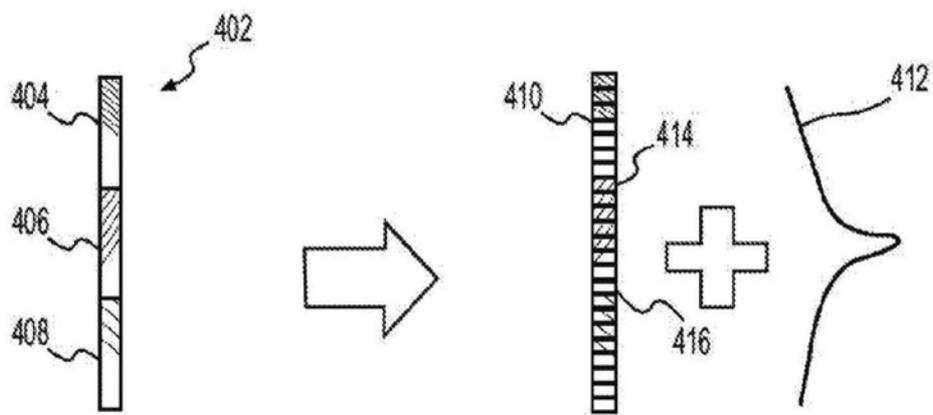


图4

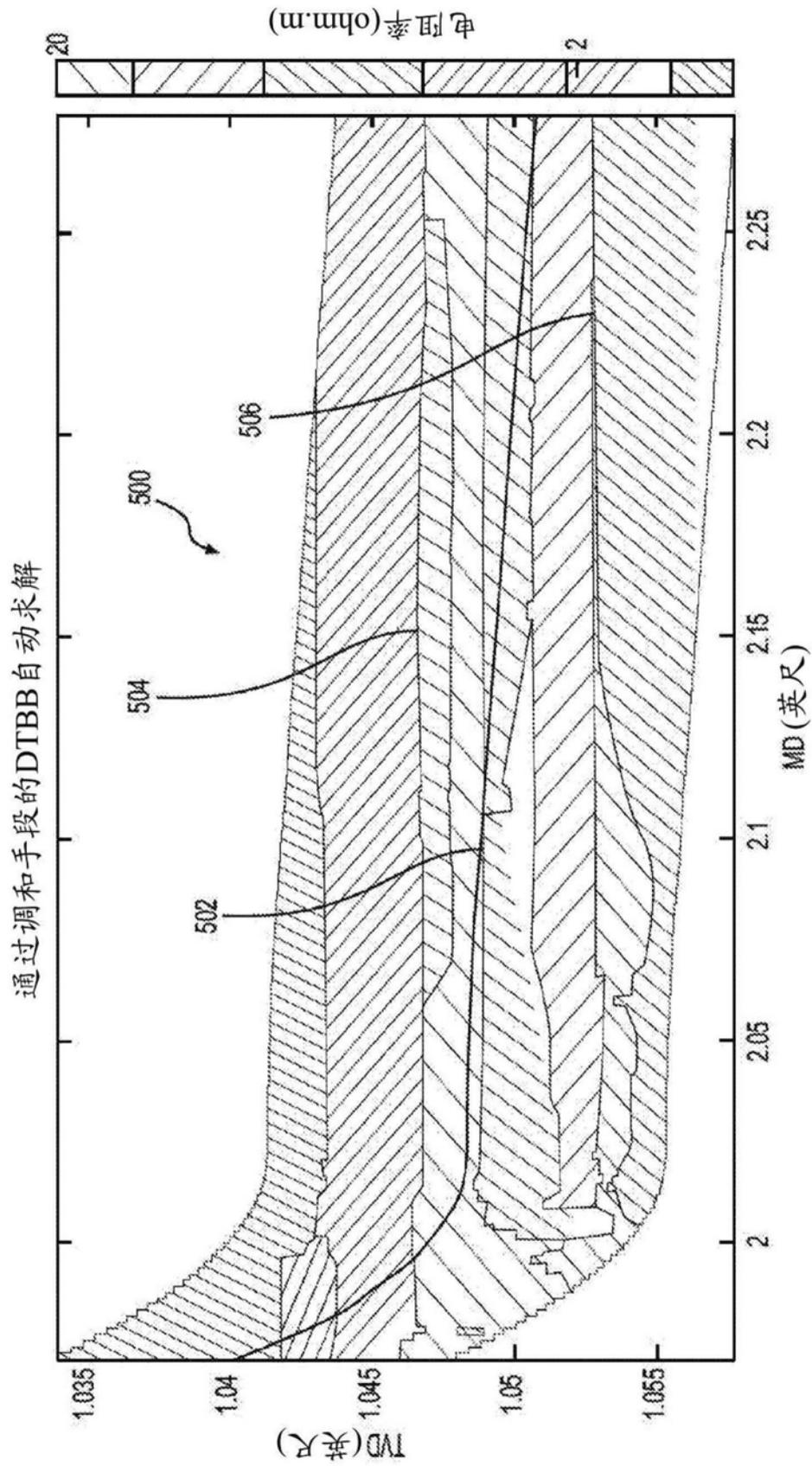


图5

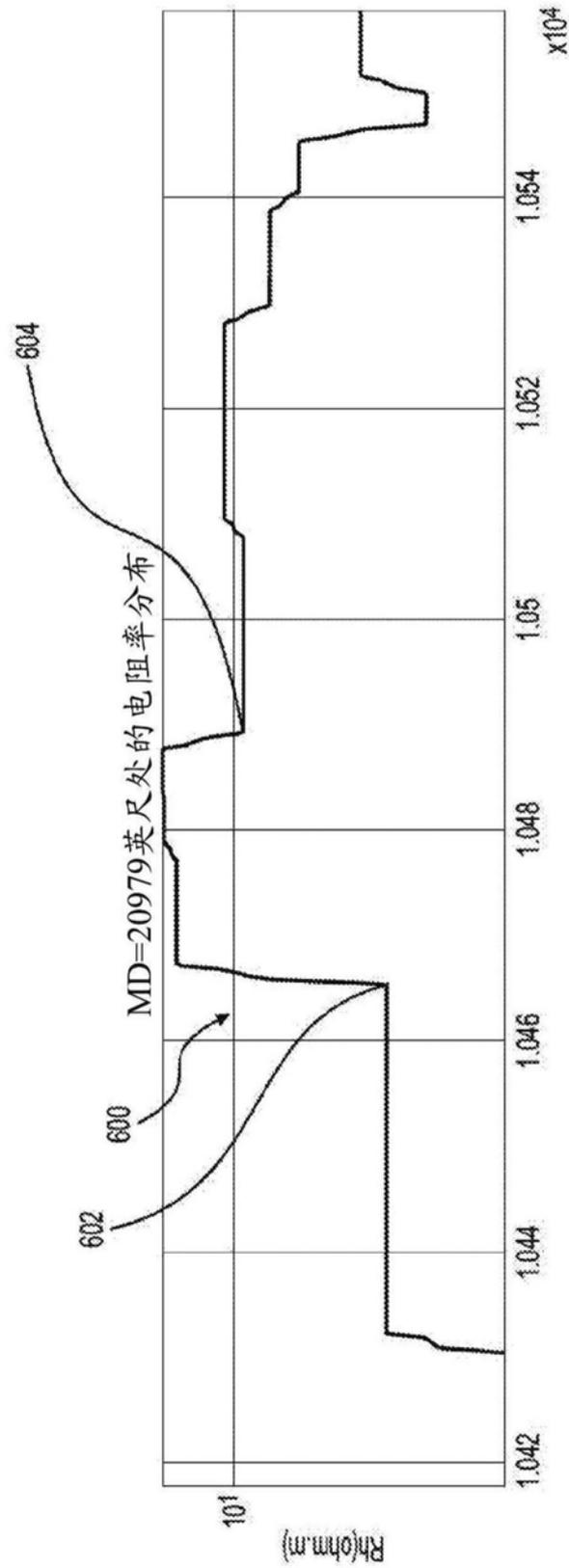


图6

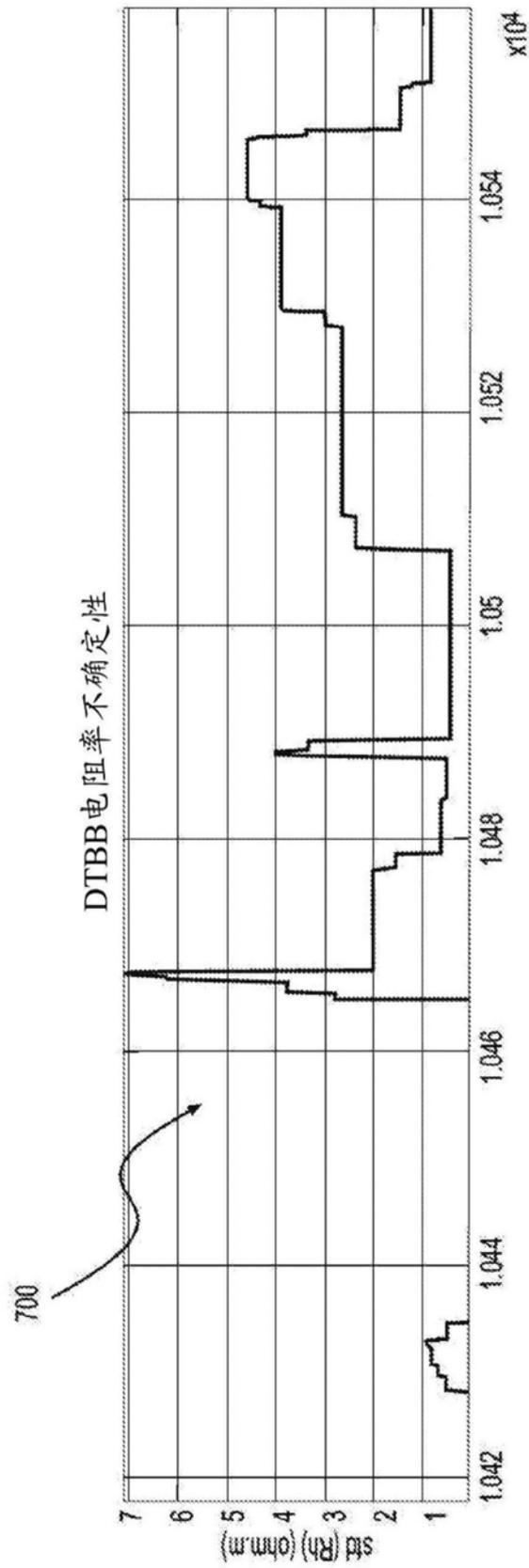


图7

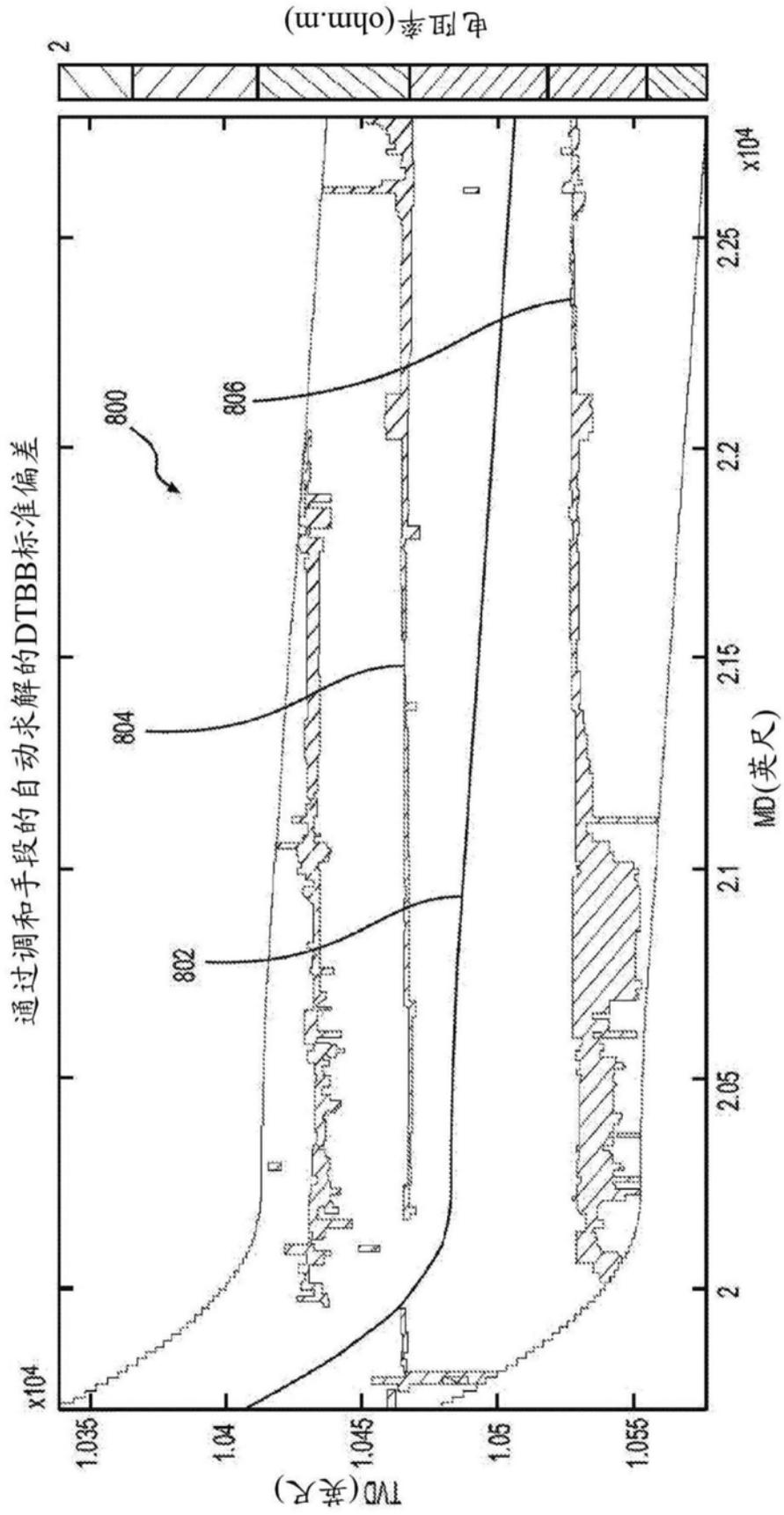


图8

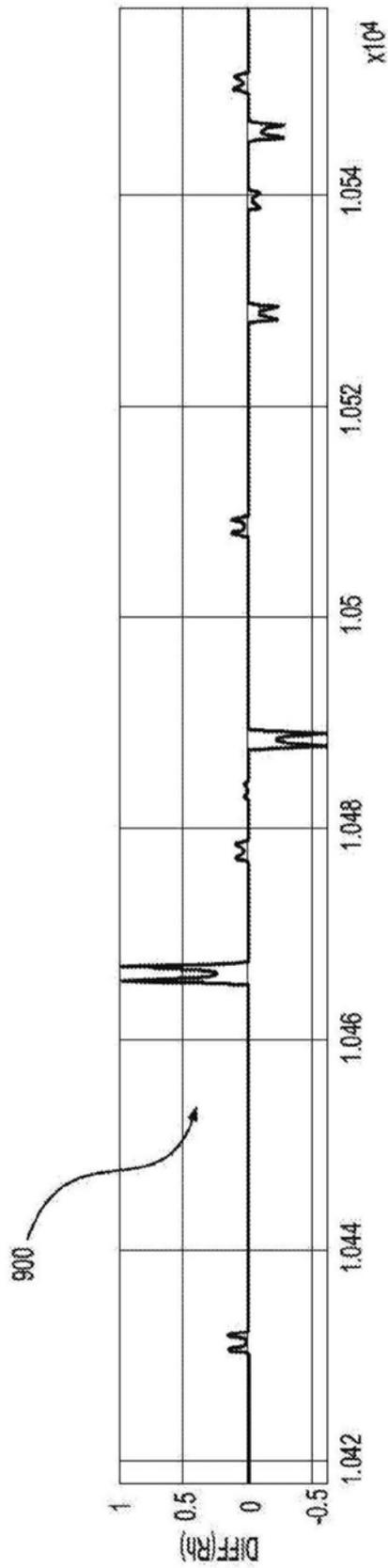


图9

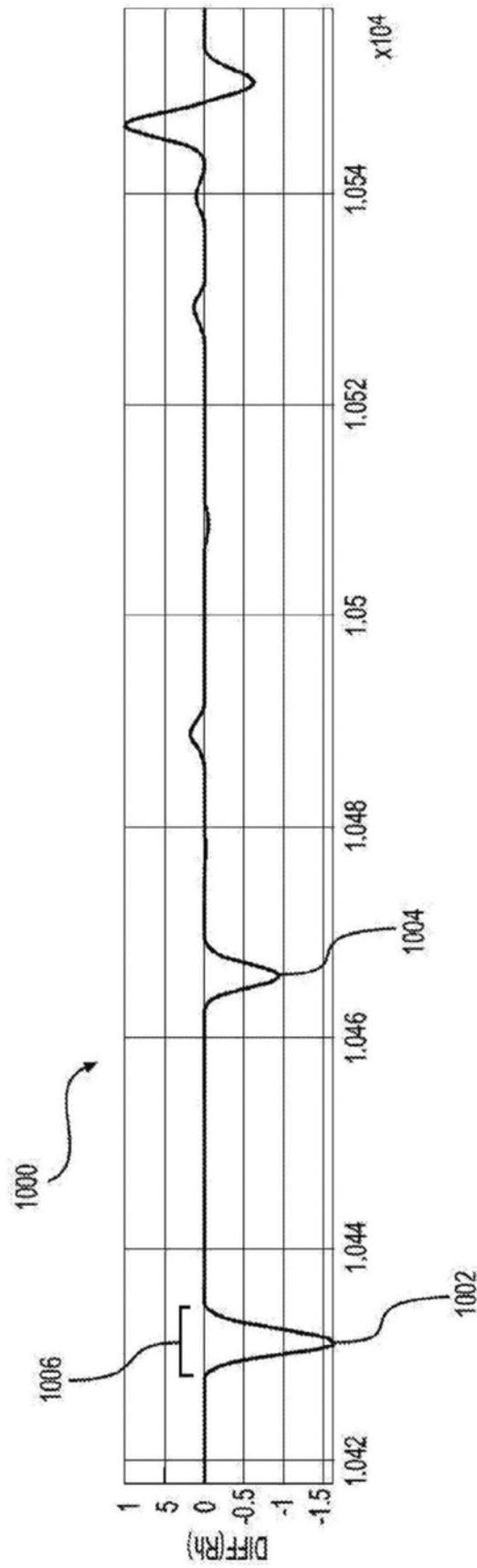


图10