



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103842852 A

(43) 申请公布日 2014. 06. 04

(21) 申请号 201180073478. 1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011. 10. 06

G01V 1/00 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2014. 03. 14

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2011/055020 2011. 10. 06

(87) PCT国际申请的公布数据
W02013/052049 EN 2013. 04. 11

(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 B·东德里奇 B·刚纳
M·S·比塔尔 L·E·圣马丁

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
司 31100

代理人 张欣

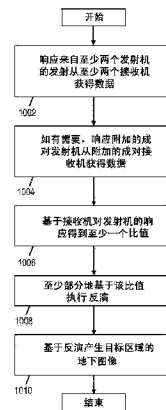
权利要求书2页 说明书5页 附图9页

(54) 发明名称

经补偿的井间层析成像方法和系统

(57) 摘要

呈现了一种补偿井间层析成像中的不准确性的方法和系统。该方法包括响应来自至少两个发射机的发射从至少两个接收机获得数据。接着,基于接收机对发射机的响应来推导出至少经补偿的值。最终,至少部分地基于所得到的经补偿的值来执行反演。该方法消除了反演处理中可由传感器增益和相位变化造成的不准确性。具有增益和相位补偿的反演结果产生更好的成像结果,这能更好地帮助确定储层的形状和边界。



1. 一种用于改善井间层析成像的图像质量的方法,所述方法包括:
 响应来自至少两个发射机的发射从至少两个接收机获得数据,其中所述发射机和接收机分布在两个或更多个井眼之间;
 推导出至少一个经补偿的值,所述经补偿的值组合了来自所述至少两个接收机的对所述至少两个发射机的响应的数据;以及
 至少部分地基于所述经补偿的值来执行反演以获得地下图像。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述经补偿的值补偿了包括传感器增益和相位变化的不准确性。
3. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述反演采用前向模型,所述前向模型将地下地层属性关联于所述至少一个经补偿的值。
4. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述经补偿的值可由下式表达: $\frac{V_{ij}^* V_{km}^*}{V_{im}^* V_{kj}^*}$, 其中 i 和 k 是接收机指标而 j 和 m 是发射机指标。
5. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述获得数据进一步包括响应于附加的成对发射机从附加接收机获得数据。
6. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述数据可表达为复数值以表示增益和相位。
7. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述接收机包括如下至少一个:磁偶极子、电偶极子、空间间隔的电极。
8. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述图像提供关于至少一个地层属性的信息,所述地层属性选自如下组:声速、衰减、地震反射率、和电磁阻率。
9. 一种用于改善井间层析成像的图像质量的系统,所述系统包括:
 存储反演软件的存储器单元;以及
 耦合至所述存储器以执行所述软件的处理器,其中所述软件配置所述处理器以:
 响应来自至少两个发射机的发射从至少两个接收机获得数据,其中所述接收机或发射机之一在井眼中;
 基于所述发射机和所述接收机的响应推导出至少一个经补偿的值;以及
 至少部分地基于所述经补偿的值来执行反演以获得地下图像。
10. 如权利要求 9 所述的系统,其特征在于,还包括电耦合至所述处理器的网络、至少两个发射机、和至少两个接收机,其中所述发射机中的至少一个或所述接收机中的一个位于所述井眼内。
11. 如权利要求 9 所述的系统,其特征在于,所述网络电耦合至至少一个传感器、至少一个发射机、和至少一个接收机。
12. 如权利要求 9 所述的系统,其特征在于,所述经补偿的值补偿了包括传感器增益和相位变化的不准确性。
13. 如权利要求 9 所述的系统,其特征在于,所述经补偿的值由下式表达: $\frac{V_{ij}^* V_{km}^*}{V_{im}^* V_{kj}^*}$, 其中 i 和 k 是接收机指标而 j 和 m 是发射机指标。

14. 如权利要求 9 所述的系统,其特征在于,所述软件进一步配置所述处理器以响应于附加的成对发射机从附加接收机获得数据。

15. 如权利要求 9 所述的系统,其特征在于,所述数据可表达为复数值以表示增益和相位。

16. 如权利要求 9 所述的系统,其特征在于,所述发射机和接收机被分布在两个或更多个井眼之间。

17. 如权利要求 9 所述的系统,其特征在于,所述图像提供关于至少一个地层属性的信息,所述地层属性选自如下组:声速、衰减、地震反射率、和电磁阻率。

18. 如权利要求 9 所述的系统,其特征在于,所述发射机和接收机各自耦合至天线,所述天线是包括线圈、螺线管、导线天线、电极、缝隙天线、和环面天线的组。

经补偿的井间层析成像方法和系统

背景技术

[0001] 现代油田运作需要大量有关井下遭遇的参数和工况的信息。期望的信息的类型包括储油气层中的流体的范围和分布。尽管可通过表面勘探来收集一般的图片,但这类勘探受限于覆盖在感兴趣区域之上的地下层的效果。可通过在感兴趣区域内或附近使用井眼来消除或减少这些效果。通过井眼发射机和接收机的适当配置,井间层析成像可用来提取感兴趣区域的相对详细的图像,适于规划和监测来自储层的生产。

[0002] 一开始,使用地震发射机和接收机来执行井间层析成像,但最近以焦点放到使用电磁 (EM) 发射机和接收机方面。对于任何地球物理勘探,勘探系统中的噪声和不准确性将负面地影响图像质量。井间层析成像中的这种劣化的一个重要原因是传感器增益和相位的假设值和实际值之间的不匹配。这些不匹配可源自许多原因,包括传感器类型差异、校准误差、井眼配置的变化(例如,泥浆成分和井眼半径)、以及诸如温度和压力之类的环境参数。相位不匹配可因为电子系统中的延时和典型井间层析成像系统的广泛分布的组件的同步误差所造成或恶化的。传统方法的井间层析成像看上无法充分解决这类不准确性。

[0003] 附图简述

[0004] 在附图中:

[0005] 图 1 示出一示例性钻探环境;

[0006] 图 2A 示出井间层析成像的说明性多边环境;

[0007] 图 2B 示出井间层析成像的说明性多井眼环境;

[0008] 图 3 是说明性的经补偿的井间层析成像系统的功能框图;

[0009] 图 4A 和图 4B 示出电磁 (EM) 发射和接收天线的说明性配置;

[0010] 图 5 是说明性反演过程的高级流程图;

[0011] 图 6 是说明性反演过程的详细流程图;

[0012] 图 7 示出用于模拟的说明性储层模型;

[0013] 图 8 示出用于说明性模拟的传统反演结果;

[0014] 图 9 示出用于说明性模拟的补偿反演结果;以及

[0015] 图 10 是说明性的经补偿的井间层析成像方法的流程图。

[0016] 虽然本发明容易得出多种替代形式、等效物、和修正例,但已经通过示例在附图中示出且将详细描述其特定实施例。然而应当理解,这里的附图和详细说明不对本公开构成限制,相反,它们提供本领域内技术人员理解由所附权利要求书的范围描述的实施例涵盖的替代形式、等效物、和修正例的基础。

具体实施方式

[0017] 背景技术中标识的问题可由所公开的经补偿的井间层析成像方法和系统至少部分地解决。在至少一些方法实施例中,响应至少两个发射机中的每一个从至少两个接收机获得数据,该发射机和接收机位于感兴趣区域附近的井眼内。数据被组合以形成至少一个经补偿的值,该经补偿的值对任何发射机和接收机增益或相位不准确性进行补偿。然后执

行反演来标识最佳地匹配这些经补偿的值的地下结构。至少一些系统实施例使用随后输出从地下结构导出的一个或多个图像的的软件来实现该方法。

[0018] 所公开的系统和方法采用感兴趣地下区域内或附近的至少一个井眼。这些井眼可如图 1 所示地被钻探。钻探平台 2 配有井架 4, 该井架 4 支承升降机 6, 用以上升和下降钻柱 8。升降机 6 悬挂顶部驱动器 10, 该顶部驱动器 10 用来使钻柱 8 转动并使钻柱通过井口 12 下降。钻柱 8 的各段通过螺纹连接器 7 连接。钻头 14 连接至钻柱 8 的下端, 该钻头 14 转动以沿期望路径 18 创建并延伸井眼 16。泵 20 使钻井液循环流过供液管 20 至顶部驱动器 10、通过钻柱 8 的内部至井下、通过钻头 14 中的孔、经由钻柱 8 周围的环形套管回到地表并进入容水坑 24。钻井液将岩屑从井眼运入到坑 24 中并帮助维持井眼 20 的完整性。

[0019] 测井仪器 26 可被放置在钻柱 8 上。遥测模块 28 可使用多种可用的遥测技术中的任何一种提供测井仪器 26 和地表接口 34 之间的通信。在一个示例中, 声传感器 30、32 检测来自测井仪器的泥浆脉冲遥测携载数据。数据处理系统 38 通过有线或无线通信链路 36 耦合至地表接口 34 以控制和获取来自测井仪器 26 的测量。所示数据处理系统 38 是具有与用户交互的一个或多个输入设备 42 和一个或多个输出设备 44 的通用目的计算机。信息存储介质 40 上的 (或计算机内部存储器中的) 软件配置计算机的内部处理器 (多个) 以获取井间层析成像测量并推导出地下结构的模型以将其显示给用户。

[0020] 测井仪器 26 优选地包括用于发送和 / 或接收声音信号的声换能器、或用于发送和 / 或接收电磁 (“EM”) 信号的电磁天线。尽管示出位于钻柱上, 但测井仪器也可附加地在有线线路或挠性油管柱上传输。数据处理系统 38 使用在感兴趣区域内和周围的多个位置的多个发射机和接收机来获取测量。

[0021] 图 2A 示出说明性配置, 其中各发射机 (“T”) 和接收机 (“R”) 被放置在多边井的每个分支上, 包括穿透感兴趣区域的基本垂直分支以及沿储层顶部在各个方向向外延伸的五个基本水平分支。图 2B 示出不同的说明性配置, 其中多个收发机 (发射机和接收机) 节点使用多个垂直井遍及感兴趣区域地放置, 这些垂直井中的一些可包括具有附加收发机节点的侧分支。一些或全部的井眼可以是开放的 (即露出的) 类似地, 这些井眼中的一些或全部可被加套并且在套管内放置有传感器。在套管造成过多衰减的情形下, 传感器可被配置成发送 / 接收低频率磁波。一些系统可采用放置在地表处的附加传感器。

[0022] 节点的数目和位置取决于区域的体积、属性 (电阻率或声阻抗)、以及模型的期望分辨率。然而, 一般来说, 大量节点提供更好的模型准确性, 并且节点的三维配置可相对于二维配置而言是优选的, 而继而二维配置可相对于一维配置而言是优选的。在一些节点与有用的感兴趣区域间隔过远的情形下, 可将这些节点省去以免将不必要的噪声引入到反演过程中。

[0023] 图 3 是经补偿的井间层析成像系统的功能框图。图 2A 和图 2B 中的每个节点包括至少一个传感器 302, 用于发送和 / 或接收声信号或 EM 信号。对于 EM 系统, 传感器是天线或磁力计。合适的天线配置包括具有任选的补偿线圈 (例如参见图 4B) 的线圈天线 (例如参见图 4A)、环面天线、电缝天线、间隔电极天线、以及喇叭天线。对于声系统, 合适的传感器包括压电换能器、磁线圈扬声器、弯曲杆 (bender bar)、以及传统的地震源。

[0024] 一些传感器耦合至发射机 304 以将信号发送入地层, 一些传感器耦合至接收机 306 以从地层接收信号, 一些传感器可在发送和接收模式之间切换。在后一情形下, 可在传

传感器 302 及其关联的发射机 304 和接收机 306 之间设置开关 308。一些实施例甚至可例如针对不同的信号频率为给定的传感器提供多个发射机和接收机。相反,系统可包括耦合至给定的发射机 304 或接收机 306 的多个传感器 302,例如,以使发射机或接收机以不同方向或偏振(polarization)来发送或接收信号。构想倾斜天线用于对正交或线性独立的 EM 信号组件作出测量。

[0025] 每个节点包括遥测单元 310,该遥测单元 310 根据来自系统控制中心 314 的命令来控制关联的发射机 304 和接收机 306(以及开关 308)。网络 312 将控制中心 314 经由至系统中每个井的井口的传统有线或无线通信链路耦合至各个节点,并且在每个井口处的接口单元经由井内遥测信道完成通信链,该井内遥测信道诸如为有线线路、电磁遥测链路、声遥测链路、或泥浆脉冲遥测技术。可将任何合适的配置用于网络 312。

[0026] 在正常的操作中,控制中心 314 迭代通过每个可用的发射机 304,使它们依次发射,同时所有其它节点被设置为检测和捕捉任何所得接收信号。遥测单元 310 捕捉每个发射机发射的接收机信号,并将它们通信至控制中心 314。这些测量可被重复和组合以改进信噪比。数据处理单元 38 获取对于每个发射机发射的一组接收机响应,并如下面列出的那样处理这些响应以产生地下结构的模型。用户可经由可视化单元 44 来查看模型并与之交互。

[0027] 图 5 是反演过程的高级框图。原始数据(每个接收机对每个发射机的响应的振幅和相位)在框 502 中被处理以获得经补偿的数据。在框 504,迭代的反演过程修改感兴趣区域的结构模型,直到经补偿的数据与预测数据匹配为止。前向模型框 506 基于当前结构模型来生成预测的数据,并且反演框响应地修改结构模型,直到预测和经补偿的数据值之间的误差落在阈值以下为止。经修改的结构模型随后通过框 504 输出以供可视化和/或分析,从而确定储层中流体的量和分布。

[0028] 通过构建原始数据的比值而形成经补偿的数据。这些比值被设计成补偿各传感器的发射/接收特征中的任何系统误差。由于这种补偿,反演过程的结果相对于直接在原始数据上执行的反演过程的结果而言大为改善。此外,该方法放松了系统设计约束,允许使用多种传感器类型并工作在多样的井眼和环境状况下。同步要求被放松,并且系统可更容易地适应传感器的失调或参数漂移。

[0029] 令 V_{ij}^j 是表示由接收机 i 接收的响应于发射机 j 的信号测量的振幅和相位的复数值。令其通过下式来关联于“真实”信号测量 V_{ij} :

$$[0030] \quad V_{ij}^j = c_i c_j V_{ij} ,$$

[0031] 其中 c_i 和 c_j 是表示接收机 i 和发射机 j 的实际特性和假设特性之间的增益误差和相位误差的复数值。可通过将该测量与接收机 i 响应第二发射机 m 的测量以及第二接收机 k 对两发射机 j 和 m 的测量进行组合来消除这些误差,以形成经补偿的值 P_{ikjm} :

$$[0032] \quad P_{ikjm} = \frac{V_{ij}^j V_{km}^m}{V_{im}^m V_{kj}^j} = \frac{c_i c_j V_{ij} c_k c_m V_{km}}{c_i c_m V_{im} c_k c_j V_{kj}} = \frac{V_{ij} V_{km}}{V_{im} V_{kj}}$$

[0033] 注意增益和相位误差的消除。如果系统包括总共 T 个发射天线和总共 R 个接收天线,那么就有总共 $T!/(2(T-2)!)$ 个发射机对和总共 $R!/(2(R-2)!)$ 个接收机对,由此得到总共 $T!R!/(4(T-2)!(R-2)!)$ 个经补偿的值。对于 $T=4$ 且 $R=16$ 的系统,将有高达 64 个测量值,

从中可以计算出高达 720 个经补偿的值。在实践中,可在多个频率下作出测量,这进一步增加了将在反演过程中匹配的测量的数量。

[0034] 图 6 是反演过程的更详细框图。原始数据被表示为 $v_{t,r,f}$, 其中下标中的 t, r 和 f 分别表示发射机、接收机、和频率。一旦获得原始数据,将其传过最初处理级以获得经补偿的数据 $p_{t1,t2,r1,r2,f}$ 。注意在确定经补偿的值之前,一些实施例相对于由假设的(可能是恒定电阻率的)背景模型预测的测量对原始数据进行归一化。该归一化对于减少反演过程中的强信号信道的支配可能有用。

[0035] 图 6 中的平行轨道开始于对感兴趣区域内的地下结构的初始建模,这在附图中由导电率值 $\sigma_{i,j,k}^1$ 表示,其中下标表示迭代次数而 i, j, k 表示对导电率栅格内的单元在 x, y 和 z 方向的空间指标。导电率栅格需要被选择成足够大以覆盖感兴趣区域和可影响测量的其它特征。前向模型 604 工作在该模型上以使用地层导电率的初始猜测来预测对每种发射机-接收机组合以及频率的信号测量。由于该导电率分布(被表示为 $v_{t,r,f}^F$)的预测数据由框 606 处理,该框 606 执行与框 602 相同的操作。框 606 的输出被表示为 $p_{t1,t2,r1,r2}^F$ 。框 608 确定框 602 和框 606 的输出之间的差异,产生 $p^{DIF}_{t1,t2,r1,r2,f}$ 。框 610 评估该差异的大小以确定是否模型已收敛。在一些实施例中,通过将该差异的大小与经补偿的数据 $p_{t1,t2,r1,r2,f}$ 的大小进行比较而确定收敛,例如测试是否 $\|\bar{p}^{DIF}\| \leq c\|\bar{p}\|$, 其中 \bar{p}^{DIF} 和 \bar{p} 是其要素分别产生 $p^{DIF}_{t1,t2,r1,r2,f}$ 和 $p_{t1,t2,r1,r2,f}$ 的向量,而 c 是常数。如果满足收敛,则框 611 输出导电率模型。否则,框 612 基于 p^{DIF} 推导出一组导电率模型的变化,并且框 614 将该变化施加至导电率模型以得到迭代步骤 n 的更新的模型 $\sigma_{i,j,k}^{n+1}$ 。

[0036] 图 7 示出将所公开的方法的性能与未补偿原始数据的层析成像方法比较的仿真模型的俯视图。仿真模型是具有九个垂直井眼的地层基,其每个井眼具有放置于高出地层基底部 70 米处的收发机。各井眼沿 X 方向和 Y 方向均匀地隔开 500 米。假设地层基在 $1 \Omega\text{-m}$ 电阻率的其他部分同质介质中具有两处电阻率异常。两处异常沿 z 方向具有 65 米的厚度。如果中间收发机被视为原点,则第一异常是在 x 方向界定在 155 米和 285 米之间并在 y 方向为 -130 米至 130 米之间的体积。该异常具有 $25 \Omega\text{-m}$ 的电阻率。第二异常部在 x 方向被界定在 -290 米和 -150 米之间,并在 y 方向在 120 米和 330 米之间。该异常的电阻率被取为 $20 \Omega\text{-m}$ 。具有 z 方向线圈发射机的多频率系统被认为具有 1、2、5 和 10Hz 的工作频率。合成数据是根据前述导电率分布通过 3D 时域有限差分 (FDTD) 码来创建。5% 的乘性增益噪声被施加至该合成数据。

[0037] 来自该数据的传统反演的结果示出于图 8。异常的真实位置用虚线表示。反演图像由于噪声表现出若干伪像。尽管观察到接近目标的若干峰,然而结果还示出许多假阳性并且不可可靠地确定储层的形状和边界。

[0038] 来自根据前面公开的方法使用经补偿的值的反演的结果示出于图 9。导电率图像不因传感器增益和相位误差的存在而受到影响。可看出,较高的强度区非常准确地与储层边界匹配,并且消除了由传感器增益和相位噪声引起的任何假阳性。

[0039] 图 10 示出经补偿的井间层析成像的说明性流程图。在框 1002, 响应来自至少两个

发射机的发射从至少两个接收机获得数据。接收机或发射机中的至少一个位于井眼内。发射机和接收机也可分布在两个或更多个井眼之间和分布在地表上。在框 1004, 响应附加的成对发射机从附加的成对接收机获得数据。在框 1006, 至少一个经补偿的值是基于接收机对发射机的响应推导出的。经补偿的值可表示为:

$$[0040] \quad \frac{V_{ij}^* V_{km}^*}{V_{im}^* V_{kj}^*},$$

[0041] 其中 i 和 k 是接收机指标, 而 j 和 m 是发射机指标。如框 1008 所示, 至少部分地基于所得到的经补偿的值执行反演。最终, 在框 1010 中, 基于该反演来产生目标区的地下图像。图像可提供关于至少一个地层属性的信息, 例如声速、衰减、地震反射率、电磁阻率、或介电常数。

[0042] 图 10 所示的操作可实现为通用目的计算机上的软件。该计算机中的处理器(多个)被配置成执行存储在盘或存储器中的软件, 该软件使处理器根据用户命令获得数据、处理数据、并显示所得图像。

[0043] 本领域内技术人员在细阅前面的公开内容后将理解所公开的要素和操作的多种替代形式、等效物和修正。例如, 补偿测量公式不仅仅是实现增益和相位误差的抵消的公式, 因为通过三个接收机响应三个发射机的测量组合、或四个接收机响应四个发射机的测量组合等, 将得到相同的抵消。在任何情况下, 下面的权利要求书涵盖这些替代形式、等效物和修正。

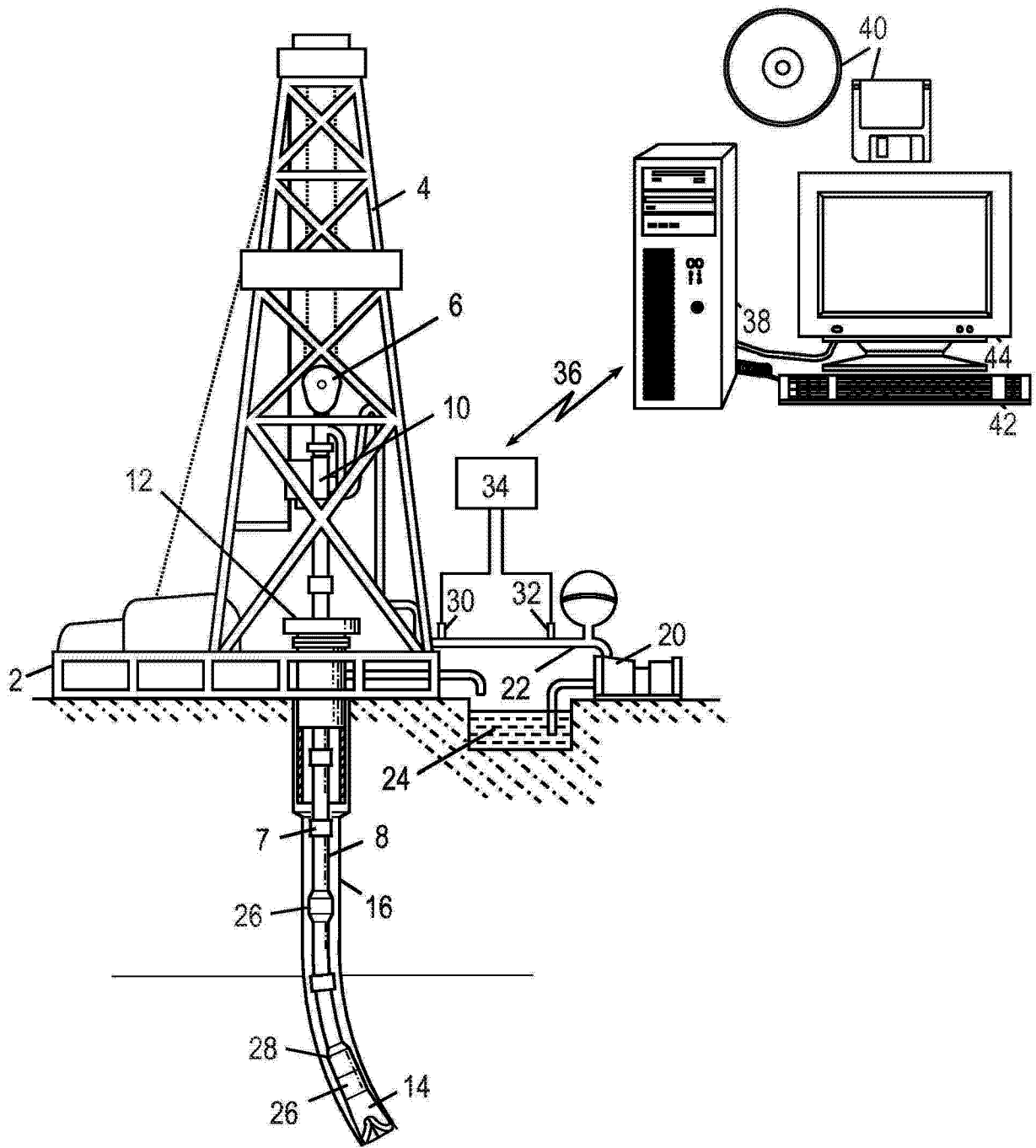


图 1

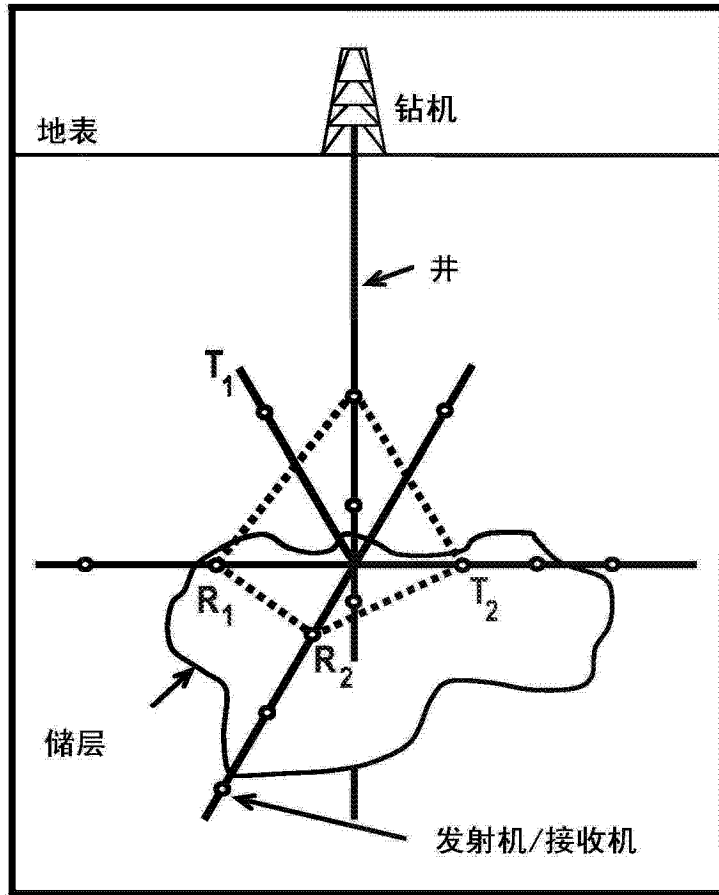


图 2A

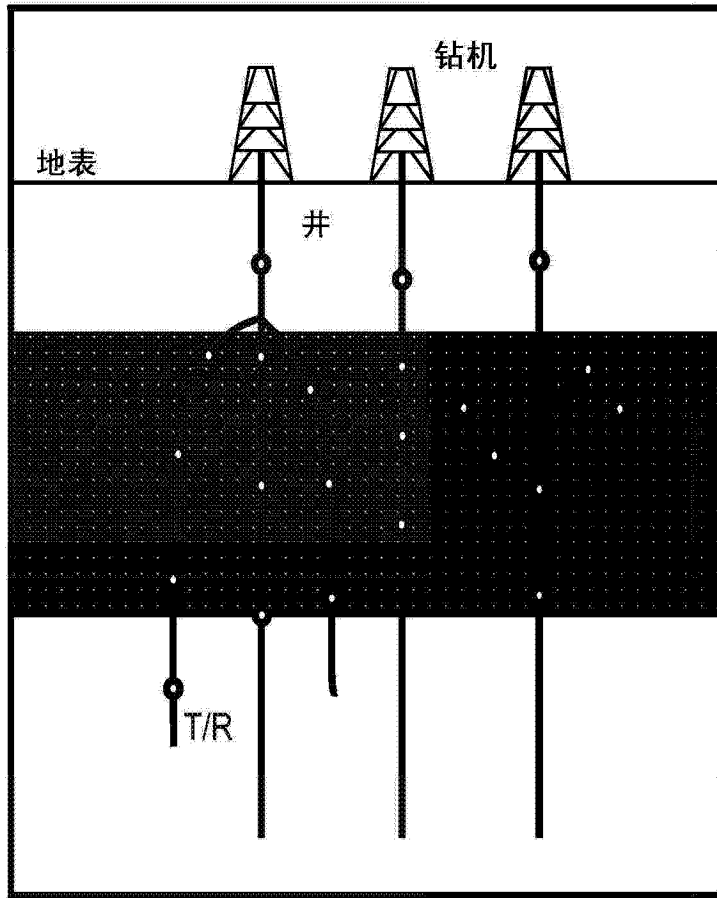


图 2B

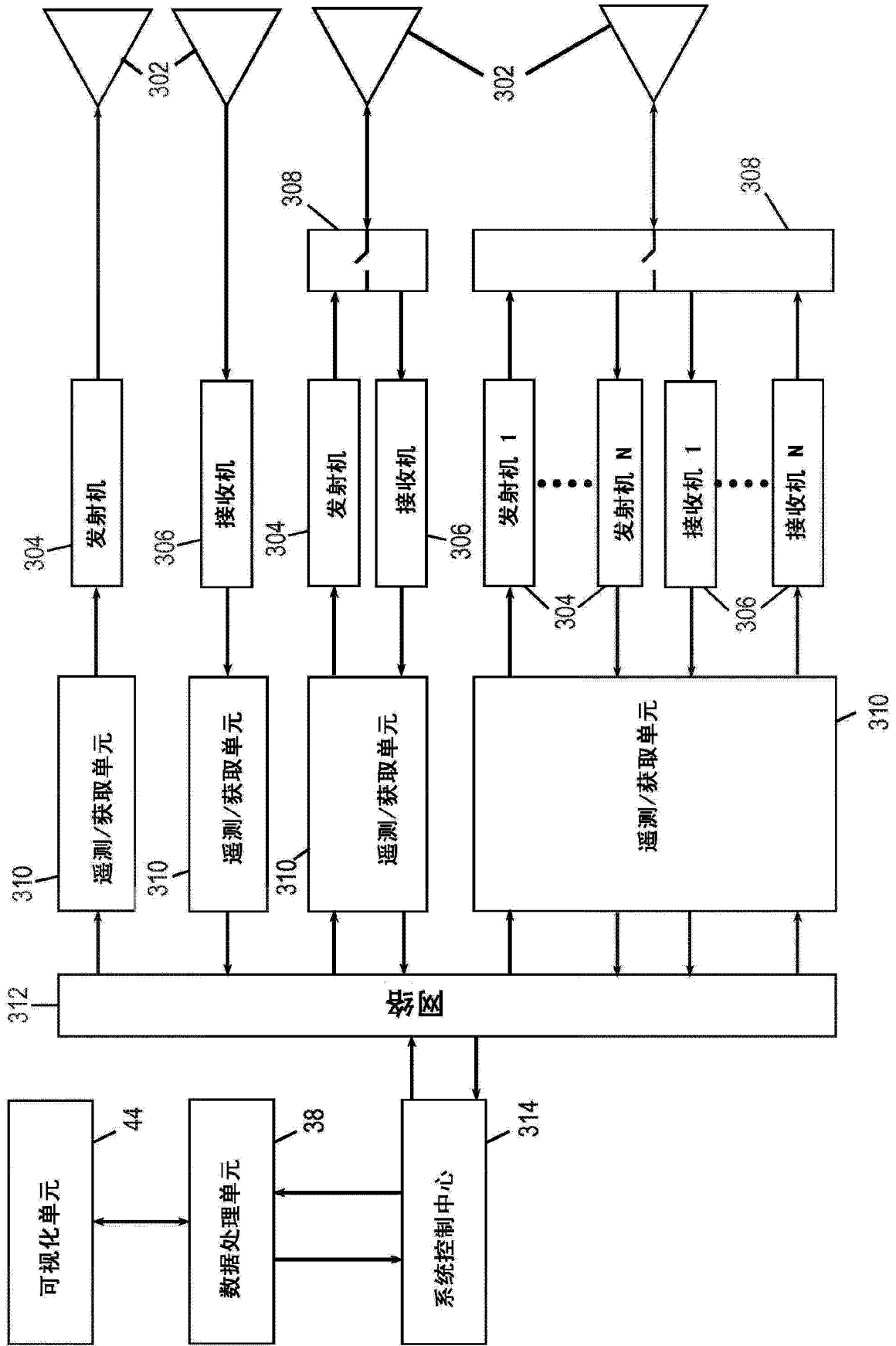


图 3

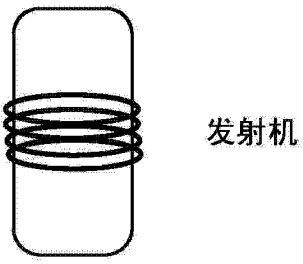


图 4A

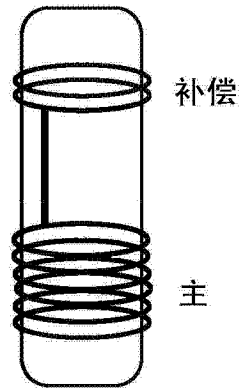


图 4B

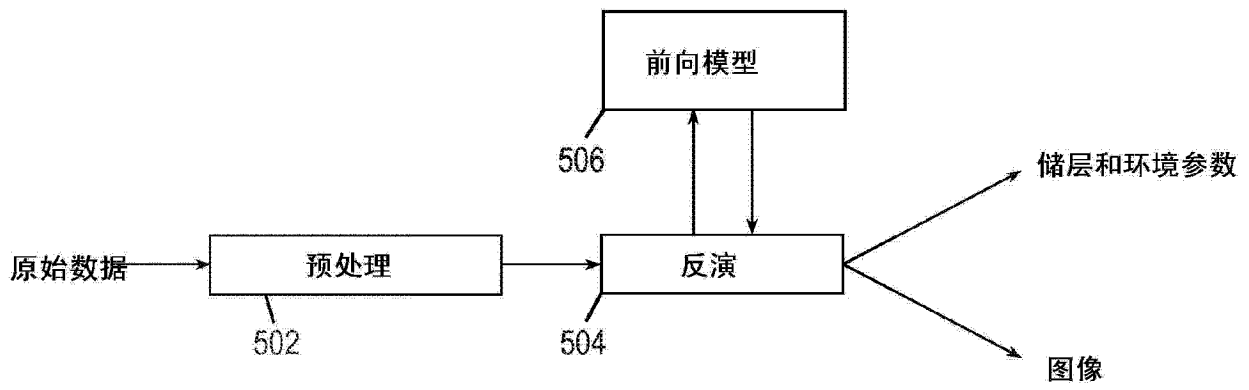


图 5

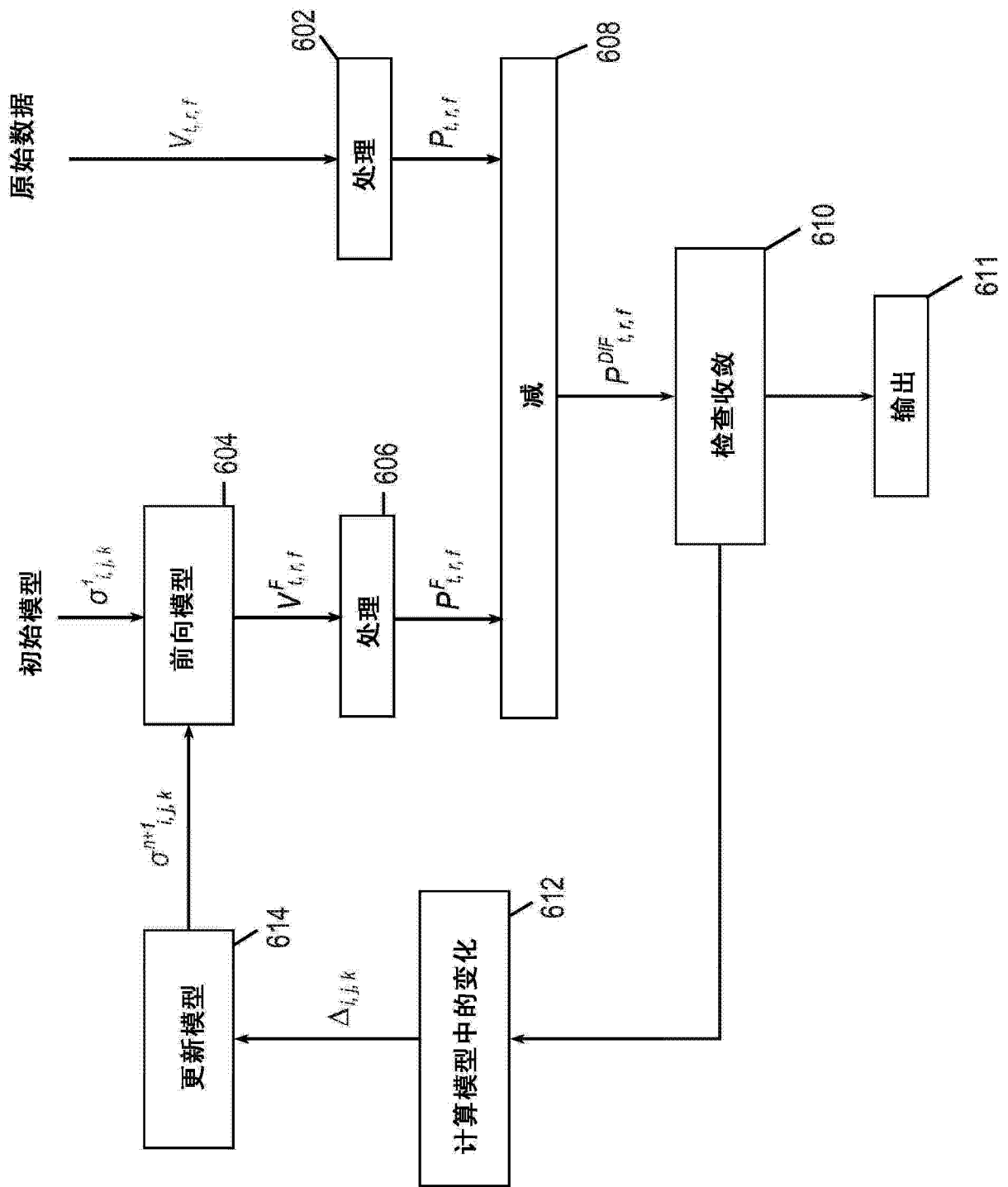


图 6

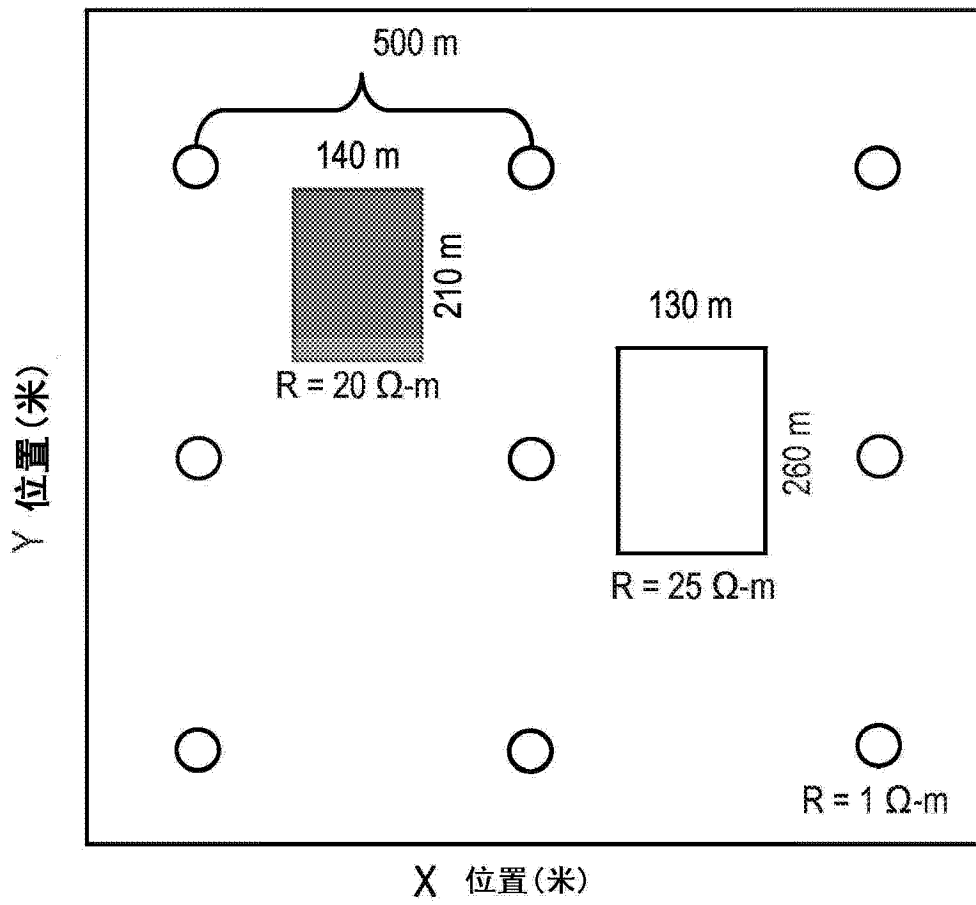


图 7

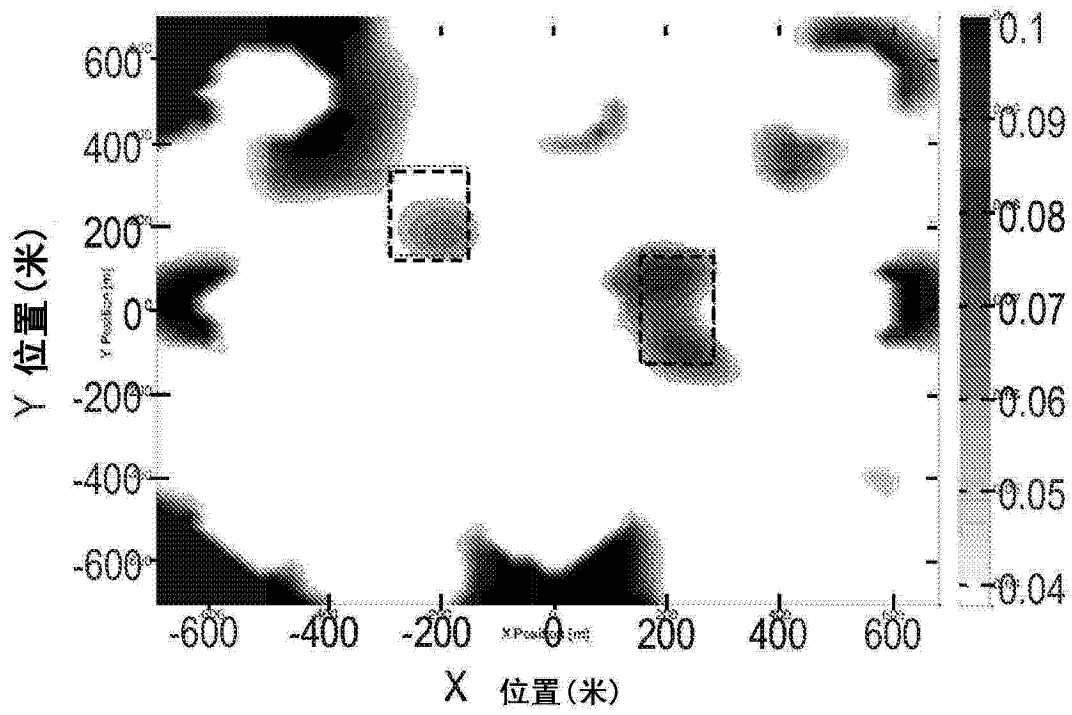


图 8

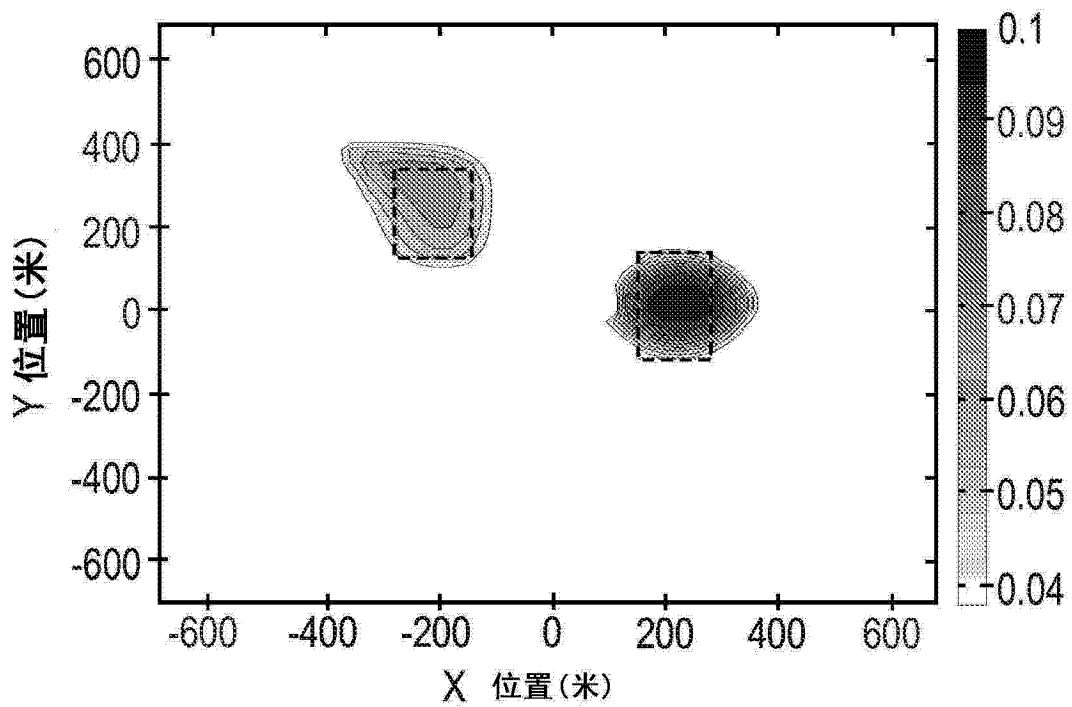


图 9

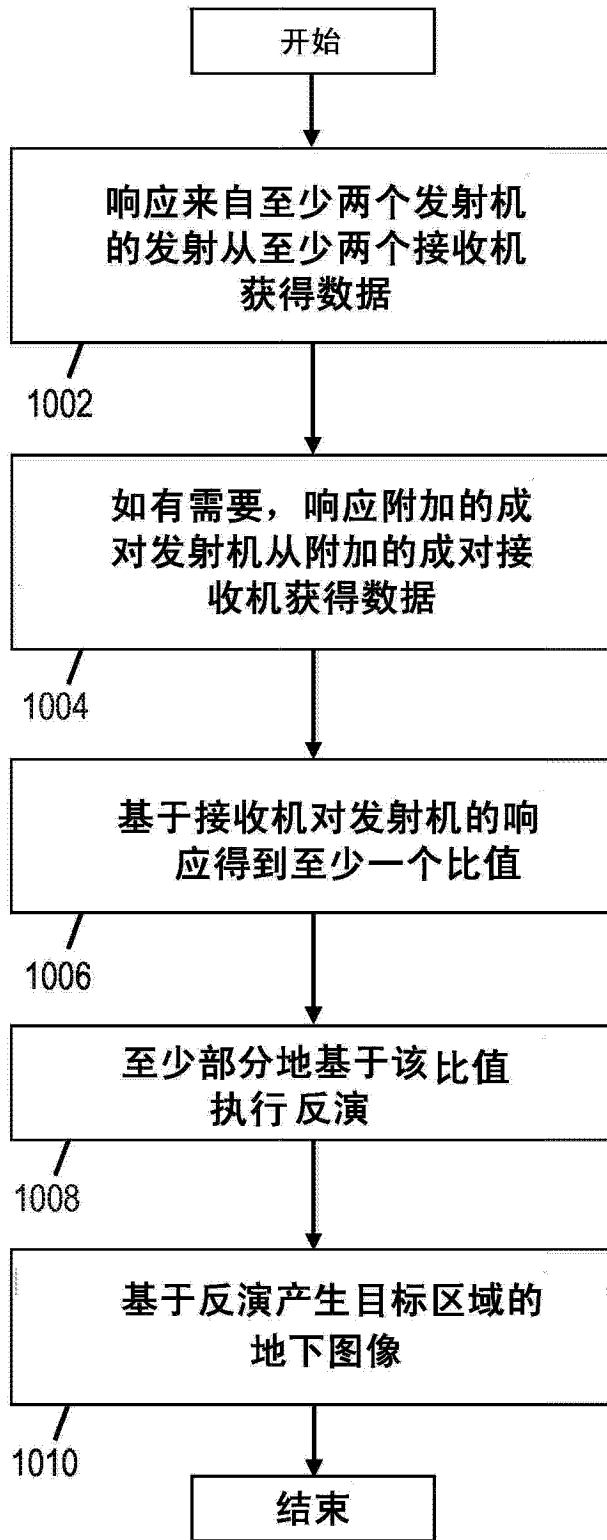


图 10