



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101918863 A

(43) 申请公布日 2010. 12. 15

(21) 申请号 200880119520. 7

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

(22) 申请日 2008. 12. 05

代理人 张成新

(30) 优先权数据

11/952, 302 2007. 12. 07 US

(51) Int. Cl.

G01V 3/28(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 06. 07

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/085627 2008. 12. 05

(87) PCT申请的公布数据

W02009/076183 EN 2009. 06. 18

(71) 申请人 普拉德研究及开发股份有限公司

地址 英属维尔京群岛多多拉岛

(72) 发明人 吉恩·赛杜克斯 以马利·勒让德

雷扎·泰赫里安

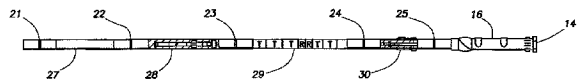
权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 17 页

(54) 发明名称

用于井位和电阻率确定的设备和系统

(57) 摘要

本发明公开了一种用于确定地层特性的模块化井下设备,所述模块化井下设备装入到钻柱(14,16)内,所述钻柱包括一个或多个井下工具(27,28,29,30)和钻杆,所述钻杆具有相同或不同的长度,所述模块化井下设备包括:第一模块(21,22,23,24,25),所述第一模块具有一个或多个天线,其中,第一模块在两个端部上具有适于与钻柱连接的连接器;和第二模块(25),所述第二模块具有一个或多个天线,其中,第二模块在两个端部上具有适于与钻柱连接的连接器,其中,第一模块和第二模块在钻柱上间隔开;以及其中,第一模块和第二模块中的一个或两个中的一个或多个天线中的一个或多个具有倾斜或横向偶极矩。



1. 一种用于确定地层特性的模块化井下设备,所述模块化井下设备装入到钻柱内,所述钻柱包括一个或多个井下工具和钻杆,所述钻杆具有相同或不同的长度,所述模块化井下设备包括:

第一模块,所述第一模块具有一个或多个天线,其中,所述第一模块在两个端部上具有适于与所述钻柱连接连接器;和

第二模块,所述第二模块具有一个或多个天线,其中,所述第二模块在两个端部上具有适于与所述钻柱连接连接器,

其中,所述第一模块和所述第二模块在所述钻柱上间隔开;以及

其中,所述第一模块和所述第二模块中的一个或两个中的所述一个或多个天线中的一个或多个具有倾斜或横向偶极矩。

2. 根据权利要求1所述的模块化的井下设备,其中,具有倾斜偶极矩的所述一个或多个天线包括具有相等倾角的至少两个天线。

3. 根据权利要求2所述的模块化井下设备,其中,具有相等倾角的所述至少两个天线具有不同的方位角。

4. 根据权利要求1所述的模块化井下设备,其中,具有横向偶极矩的所述一个或多个天线包括至少两个横向天线。

5. 根据权利要求4所述的模块化井下设备,其中,所述至少两个横向天线具有不同的方位角。

6. 根据权利要求1所述的模块化的井下设备,其中,具有倾斜或横向偶极矩的所述一个或多个天线包括至少两个天线,其中,一个天线具有倾斜偶极矩,而另一个天线具有横向偶极矩。

7. 根据权利要求6所述的模块化井下设备,其中,所述至少两个天线具有不同的方位角。

8. 根据权利要求1所述的模块化井下设备,其中,所述第一模块和所述第二模块中的一个或两个中的所述一个或多个天线中的一个或多个被共同定位。

9. 根据权利要求1所述的模块化井下设备,还包括一个或多个另外的模块,每一个另外的模块都具有一个或多个天线,其中,每一个另外的模块都在两个端部上具有适于与所述钻柱连接连接器。

10. 根据权利要求9所述的模块化井下设备,其中,所述第一模块和所述第二模块中的一个内的一个或多个天线中的一个或多个发射信号,所述信号由位于所述第一模块和所述第二模块中的另外的模块中的两个或更多个天线接收,并且接收到的所述信号用作绝对信号、被组合以产生相对信号、或者被组合以产生井眼补偿信号。

11. 根据权利要求1所述的模块化的井下设备,其中,所述第一模块或所述第二模块中的一个或两个中的所述一个或多个天线中的一个或多个包括收发器。

12. 根据权利要求1所述的模块化的井下设备,其中,所述第一模块和所述第二模块中的至少一个包括传统的电阻率测井仪。

13. 根据权利要求1所述的模块化井下设备,其中,所述第一模块和所述第二模块中的一个或两个中的所述一个或多个天线包括发射器天线和接收器天线。

14. 根据权利要求1. 所述的模块化井下设备,其中,所述第一模块与所述第二模块之

间的间隔与期望的探测深度成比例。

15. 根据权利要求 1 所述的模块化井下设备,其中,所述第一模块和所述第二模块中的一个包括钻头。

16. 根据权利要求 1 所述的模块化井下设备,其中,所述第一模块和所述第二模块中的一个或两个中的所述一个或多个天线中的一个或多个能够在多个频率下操作。

17. 根据权利要求 1 所述的模块化井下设备,其中,所述地层特性包括水平电阻率、垂直电阻率、相对倾角、地层方位角、与地层界面的距离、或者地层界面指标。

18. 一种用于确定地层特性的方法,包括以下步骤:

提供模块化井下设备,所述模块化井下设备装入到钻柱内,所述钻柱包括一个或多个井下工具和钻杆,所述钻杆具有相同或不同的长度;

从具有一个或多个天线的所述第一模块发射信号,其中,所述第一模块在两个端部上具有适于与所述钻柱连接连接器;

在具有一个或多个天线的所述第二模块中接收信号,其中,所述第二模块在两个端部上具有适于与所述钻柱连接连接器;以及

使用接收到的所述信号确定地层特性,

其中,所述第一模块和所述第二模块中的一个或两个中的一个或多个天线中的一个或多个具有倾斜或横向偶极矩。

19. 根据权利要求 18 所述的方法,其中,使用一个或多个频率执行所述从具有一个或多个天线的所述第一模块发射信号的步骤。

20. 根据权利要求 18 所述的方法,其中,所述从具有一个或多个天线的所述第一模块发射信号的步骤是根据选定的脉冲方法进行的。

21. 根据权利要求 20 所述的方法,其中,所述选定的脉冲方法包括具有不同频率的一系列发射脉冲。

22. 一种用于确定地层特性的模块化井下设备,所述模块化井下设备装入到钻柱内,所述钻柱包括一个或多个井下工具和钻杆,所述钻杆具有相同或不同的长度,所述模块化井下设备包括:

第一模块,所述第一模块具有两个或更多个倾斜天线,所述两个或更多个倾斜天线具有相等的第一倾角,并且绕所述第一模块的纵向轴线根据方位角分布,其中,所述第一模块在两个端部上具有适于与所述钻柱连接连接器;和

第二模块,所述第二模块具有两个或更多个倾斜天线,所述两个或更多个倾斜天线具有相等的第二倾角,并绕所述第二模块的纵向轴线按照方位角分布,其中,所述第二模块在两个端部上具有适于与所述钻柱连接连接器,

其中,所述第一模块和所述第二模块在所述钻柱上间隔开。

23. 根据权利要求 22 所述的模块化井下设备,其中,所述第一倾角和所述第二倾角相等。

24. 根据权利要求 22 所述的模块化井下设备,其中,所述方位角分布是均匀间隔开的。

25. 根据权利要求 22 所述的模块化井下设备,其中,所述地层特性包括水平电阻率、垂直电阻率、相对倾角、地层方位角、与地层界面的距离、或者地层界面指标。

26. 一种用于确定地层特性的方法,包括以下步骤:

提供模块化井下设备,所述模块化井下设备装入到钻柱内,所述钻柱包括一个或多个井下工具和钻杆,所述钻杆具有相同或不同的长度;

在所述第一模块正在滑动的同时从具有一个或多个天线的第一模块发射信号,其中,所述第一模块在两个端部上具有适于与所述钻柱连接连接器;

在所述第二模块正在滑动的同时在具有一个或多个天线的第二模块中接收所述信号,其中,所述第二模块在两个端部上具有适于与所述钻柱连接连接器;以及

使用接收到的所述信号确定地层特性,

其中,所述第一模块和所述第二模块中的一个或两个中的一个或多个天线中的一个或多个具有倾斜或横向偶极矩。

27. 一种用于确定地层特性的方法,包括以下步骤:

提供井下设备;

在所述井下设备正在滑动的同时从一个或多个发射器天线发射信号;

在所述井下设备正在滑动的同时在一个或多个接收器天线中接收所述信号;和

使用接收到的所述信号确定所述地层特性,

其中,所述一个或多个发射器天线和接收器天线中的一个或多个具有倾斜或横向偶极矩。

## 用于井位和电阻率确定的设备和系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及地下勘探领域,并且更具体地涉及用于确定地下参数和井位的技术。本发明对测井领域具有普遍应用,但是本发明对随钻测井(LWD)、随钻测量(MWD)、和定向钻井(地质导向)应用尤其有用。

### 背景技术

[0002] 在地下勘探领域中已经使用电磁(EM)测井仪多年。这些测井仪或仪器每一个都具有配备有天线的细长支撑件,所述天线可作为源(发射器)或传感器(接收器)而操作。在这些测井仪上的天线通常形成为导线的环形天线或线圈。在操作中,发射器天线被交流电激励以将能量发射通过井内流体(“泥浆”)并且进入到周围地层或地层内。(如这里所使用的,“地层”可以表示单个层或者可以包括多个层。)发射的能量与井眼和地层相互作用以产生通过一个或多个接收器天线检测和测量的信号。检测到的信号反映与泥浆和地层的相互作用。测量值还受改变井眼附近的岩石的特性的泥浆滤液侵入的影响。通过处理检测到的信号数据,可确定地层和/或井眼特性的测井图或剖面图。

[0003] 测量的地下参数通过公知为反演技术的方法进行处理。反演方法通常包括对包围测井仪器的地球地层的几何结构和特性进行初始估计或模拟。初始模型参数可以以本领域公知的多种方式推导出。根据初始模型计算预期的测井仪响应。然后将计算响应与测井仪的测量响应进行比较。计算响应与测量响应之间的差用于调节初始模型的参数。调节模型用于再次计算测井仪器的期望响应。将用于调节模型的期望响应与测量的仪器响应进行比较,并且所述期望响应与所述测量的仪器响应之间的任意差用于调节所述模型。通常重复此过程直到期望响应并测量响应之间的差降到预先选定的阈值以下。美国专利 No. 6, 594, 584 说明了现代反演技术并且通过引用在此全文并入。

[0004] 因为LWD和MWD仪的有效性,因此工业已经使用实时使用电阻率测量值的井位。这种应用通常被公知为地质导向。在地质导向中,通过电阻率测井特征的相关性实时执行井眼位置相对于已知地质标记的估计。由于LWD仪的电阻率传感器沿钻铤相对于发射器的位置通常较近,因此只能获得受限制的径向灵敏度,藉此限制地层地质模型知识和判断的范围。通过引入具有发射器-接收器距离在数十米的传感器,可以获得较深的径向灵敏度。

[0005] 斯伦贝谢的具有在数十米的大发射器-接收器间隔的LWD超深电阻率或UDRTM感应测井仪已经被成功测试。所述测井仪的一种应用已经用于确定远离井眼轨迹7-11m的油水界面(OWC)的位置。题为“Method and Apparatus for Measuring Resistivity of an Earth Formation”并授予Seydoux等人的美国专利 No. 6, 188, 222 和 Seydoux 等人的题为“Systems for Deep Resistivity While Drilling for Proactive Geosteering”的美国专利 No. 7093672 还提供了对这种测井仪和所述测井仪的使用的说明。’ 222 专利和’ 672 专利转让给本发明的受让人并通过引用在此全文并入。

[0006] LWD超深电阻率基本测井仪结构包括两个独立的钻井接头(一个发射器和一个接收器),所述钻井接头连同其它钻井工具一起放置在BHA中以允许大的发射器-接收器间

隔。由这种测井仪得到的基本测量值由不同频率下的感应振幅组成,以允许检测具有电阻率对比的不同地层界面,所述电阻率对比具有大范围电阻率。测量值用于对最优参数地层模型做反演,所述最优参数地层模型给出在这种地层模型中测井仪的实际测量值与测井仪的预期测量值之间的最佳拟合。

[0007] 图 1 显示在使用中的 MWD 仪的示例。在图 1 的结构中,钻柱 10 通常包括方钻杆 8、长钻杆 11、和钻铤 12,所述钻铤如图所示悬挂在钻通地球地层 9 的井眼 13 内。钻柱的下端处的钻头 14 通过连接到钻井马达组件 16 的驱动轴 15 旋转。这种马达由钻井泥浆供给动力,所述泥浆向下循环通过钻柱 10 的孔并通过井眼环状空间 13a 向上回到地面。马达组件 16 包括动力部分(转子/定子或涡轮机),所述动力部分驱动钻头和弯外壳 17,所述弯外壳在使井眼 13 在弯角的平面内弯曲的弯曲点处建立小弯角并逐渐建立新的井斜。弯外壳可以是固定角度装置,或者所述弯外壳可以是地面可调节组件。如通过引用在此全文并入的美国专利 No5,117,927 中所公开的,弯外壳还可以是井下可调节组件。可选地,马达组件 16 可以包括直外壳,并且可以用于与本领域所公知的弯接头相关联,并在马达组件 16 上方位于钻柱内以提供弯角。

[0008] 传统的 MWD 仪 18 在此钻柱内位于马达组件 16 上方,所述 MWD 仪具有测量不同井下参数的传感器。钻井参数、钻头参数和地球地层参数是由 MWD 系统测量的参数类型。钻井参数包括 BHA 的方向和倾角。钻头参数包括诸如钻压(WOB)、钻头扭矩和驱动轴速度的测量值。地层参数包括诸如自然伽马射线锥体、地层的电阻率、以及表征地层的其它参数的测量值。由 MWD 系统获得的表示这些井下参数和特征的测量信号通过发射器实时发射到地面,或当将 BHA 带回到地面时记录在存储器内用于使用。

[0009] 虽然现有技术深探测电阻率测井仪(例如,UDR)被证明在地质导向应用中是无法估价的,但是仍然需要可以在地质导向和/或其它应用中使用进一步提高的深探测电阻率测井仪。

## 发明内容

[0010] 本发明的一个方面涉及一种具有模块化设计的电阻率阵列。根据本发明的一个实施例的电阻率阵列包括:发射器模块,所述发射器模块具有至少一个天线,其中,发射器模块在两个端部上具有适于与其它井下工具连接连接器;和接收器模块,所述接收器模块具有至少一个天线,其中,接收器模块在两个端部上具有适于与其它井下工具连接连接器,并且其中,发射器模块和接收器模块在钻柱上间隔开,并且被至少一个井下工具分开。每一个发射器模块和接收器模块都可以包括具有偶极矩方位不局限于测井仪纵向方向的至少一个天线线圈。在多于一个天线的情况下,所有或一些天线方位矢量可以是线性无关的。当且仅当由水平连接的矢量的分量构造而成的矩阵具有等于矢量数量的秩时,一组矢量才是线性无关的。

[0011] 本发明的另一个方面涉及电阻率测井仪。根据本发明的一个实施例的电阻率测井仪包括:测井仪主体,所述测井仪主体适于在井眼内移动;和至少三个模块(接头),所述至少三个模块设置在测井仪主体上,其中,至少三个模块沿测井仪主体的纵向轴线以不相等的间隔间隔开,使得至少三个模块的组合包括不同间隔的电阻率阵列。

[0012] 本发明的另一个方面涉及电阻率测井仪。根据本发明的一个实施例的电阻率测井

仪包括：测井仪主体，所述测井仪主体适于在井眼内移动；电阻率传感器，所述电阻率传感器设置在测井仪主体上，并且包括形成至少一个阵列的多个模块；和另外的天线，所述另外的天线设置在测井仪主体上，并且沿测井仪主体的纵向轴线与电阻率传感器间隔开，其中，另外的模块和电阻率传感器中的多个模块中的一个形成具有间隔大于大约 90 英尺的阵列。

[0013] 本发明的另一个方面涉及随钻测井仪。根据本发明的一个实施例的随钻测井仪包括：钻头，所述钻头在钻柱的一端处；第一模块，所述第一模块紧邻钻头设置在钻柱上或设置在钻头内；和至少一个另外的模块，所述至少一个另外的模块设置在钻柱上，并且与所述第一模块间隔开，其中，所述第一模块具有至少一个天线，所述至少一个天线具有不局限于纵向方向的偶极矩方位，并且其中，至少一个另外的模块包括三个天线，所述三个天线的偶极矩方位是线性无关的。

[0014] 本发明的另一个方面涉及一种用于地层电阻率测量的方法。根据本发明的一个实施例的用于地层电阻率测量的方法包括以下步骤：使用电阻率阵列中的发射器天线将电磁能发射到地层内，其中，根据选定的脉冲方法利用多个频率执行所述发射步骤；以及对多个频率中的每一个检测在接收器天线中感生的信号，在电阻率阵列中，所述接收器天线与发射器天线间隔开。

[0015] 本发明的另一个方面涉及一种用于设计电阻率阵列的方法。根据本发明的一个实施例的用于设计电阻率阵列的方法包括以下步骤：估计储层的厚度；以及将发射器和接收器设置在钻柱上，使得发射器并接收器之间的间隔不小于储层的估计厚度。

[0016] 本发明的其它方面将从以下说明和所述权利要求清楚呈现。

## 附图说明

[0017] 图 1 显示可以与本发明的一个实施例一起使用的现有技术的钻机和钻柱；

[0018] 图 2 显示根据本发明的一个实施例的电阻率阵列；

[0019] 图 3 显示根据本发明的另一个实施例的电阻率阵列；

[0020] 图 4 是根据本发明的一个实施例的对于由各种发射器 - 接收器距离得到的 10kHz 振幅测量值显示探测深度的示例；

[0021] 图 5 显示根据本发明的一个实施例的电阻率阵列；

[0022] 图 6 显示根据本发明的一个实施例的电阻率阵列；

[0023] 图 7A 和图 7B 显示传统的现有技术电阻率阵列的振幅响应；

[0024] 图 7C 和图 7D 显示根据本发明的一个实施例的电阻率阵列的振幅响应；

[0025] 图 8 显示根据本发明的一个实施例的序列方法；

[0026] 图 9 显示根据本发明的一个实施例的电阻率阵列；

[0027] 图 10 显示根据本发明的一个实施例的天线模块；

[0028] 图 11A-11F 是根据本发明的一个实施例的对于具有电阻率对比的平坦边界显示各种测量值；

[0029] 图 12 显示根据本发明的一个实施例的天线模块；

[0030] 图 13 显示根据本发明的一个实施例的天线模块；

[0031] 图 14(a)-14(j) 显示根据本发明的各种实施例的各种天线模块；

[0032] 图 15 显示根据本发明的一个实施例的天线模块 ;以及

[0033] 图 16 显示示出了根据本发明的一个实施例的方法的步骤的流程图。

### 具体实施方式

[0034] 本发明的实施例涉及具有改进特性的电阻率阵列。本发明的一些实施例涉及在地层评价中使用这些测井仪的方法。本发明的实施例可以允许对更加复杂的地层模型（即，具有更多参数的地层模型）做反演和 / 或可以提高电阻测量值反演的稳健性（减少不确定性）。本发明的一些实施例可以通过提供更多测量值而增加地层电阻率评价的灵活性，所述更多测量值中的每一个都可以具有对不同地层模型的不同响应。

[0035] 本发明的一些实施例提供具有模块化设计的电阻率阵列。模块化设计有助于对不同的测量需求安装不同的测井仪结构。例如，通过扩展发射器 - 接收器组合的数量（例如，具有四个发射器和一个接收器、从而形成 4 发射器 - 接收器阵列的一个实施例），可以获得更多的探测深度。

[0036] 本发明的一些实施例可以包括可以用作收发器（即，用作发射器和接收器）的天线。这还提供了测井仪结构灵活度。在本实施例中，对于相同的数量的模块来说，可以获得更多数量的发射器 - 接收器组合。此外，在不需要以类似于授予 Minerbo 等人公开的美国专利申请 No696994 中的方式延长测井仪的长度的情况下，可以实现定向测量的对称化。

[0037] 本发明的一些实施例涉及在距离接收器的远距离处（例如，> 90 英尺）具有发射器接头（sub）以允许对储层的复杂性具有选择性的灵敏度的测井仪。这样一个实施例可以具有放置在传统的底部钻具组合的外侧（远离所述传统的底部钻具组合）的独立供给动力的发射器接头。

[0038] 本发明的一些实施例涉及将发射器放置在钻头处或所述钻头内部、或非常靠近钻头，以便具有先行能力。这样一个实施例可以具有独立供给动力的系统和数据通信能力。

[0039] 本发明的一些实施例涉及使至少一个模块位于分开的井或井眼内。

[0040] 本发明的一些实施例涉及使用适应预期地层的测量频率对地层电阻率进行估计的方法。频率范围例如可以达到 200KHz。

[0041] 本发明的一些实施例涉及组合本发明的模块与现有 LWD 电阻率阵列。

[0042] 本发明的一些实施例涉及线圈设计，所述线圈设计具有多个绕组以允许对于宽范围的频率来说可使用相同的天线。多个绕组可以串联或并联连接。

[0043] 本发明的一些实施例涉及振幅测量值到相位、相对相位和振幅、以及相移和衰减（传播）的延伸，这需要包括具有相对较长间隔（在十英尺的范围内）的两个接收器天线的接头。

[0044] 本发明的一些实施例涉及在有或没有金属屏蔽的情况下定向天线（共同定位或紧密靠近定位）的实施。

[0045] 测井仪模块化

[0046] 本发明的一些实施例涉及具有模块化设计的电阻率阵列。如这里所使用的，“电阻率阵列”是包括在钻柱上的不同位置处连接的至少一个接收器模块和至少一个发射器模块的结构。模块可以具有一个或多个天线。模块化设计允许发射器和接收器天线放置在 BHA 内的不同位置处，或者放置在 BHA 上方的钻柱内的位置处。例如，图 2 显示了电阻率阵列，



所述电阻率阵列包括与其它 LWD 或 MWD 测井仪 27、28、29、30 一起放置在 BHA 内的 4 个发射器模块 21、22、23、24 和一个接收器模块 25。通过将发射器和 / 或接收器模块插入在标准 BHA 上的不同位置处 (如图 2 中所示), 或者将所述发射器和 / 或接收器模块插入在钻柱上的不同位置处, 可以实现具体的探测深度以优化使用这种深电阻率测量的地层模型反演过程。例如, 在一个实施例中, 发射器模块 21 可以距离接收器模块 25 大约 90-100 英尺。此外, 一个或多个模块可以放置在附近的井眼内以提供大的间隔阵列。

[0047] 上述 ' 672 专利公开了一种可以包括发射器模块和接收器模块的超深电阻率阵列。' 672 专利论述了探测深度 ("DOI") 与发射器天线和相对应的接收器天线间的间隔之间的关系, 且所述关系是更大的间隔导致 DOI 相应地增加。本发明的发明人已经发现所述关系保持正确; 然而, 增加所述间隔会使接收器拾取和耦合来自发射器的信号的能力变得复杂。本发明的实施例可以在发射器模块或接收器模块中使用三轴向天线, 其中, 三轴向天线模块具有三个天线, 所述三个天线具有沿三个不同方向的磁矩。三轴向天线模块将确保三轴向天线的横向分量中的至少一些可以形成与相对应的发射器或接收器的横向分量的大致耦合。因为当装配钻柱时, 难以确保单个天线发射器与单个天线接收器对齐, 从而当间隔增加时增加了难度, 因此使用三轴向天线收发器 (或接收器) 是有利的。相反, 三轴向天线收发器 (或接收器) 将总是具有与电阻率阵列中相对应的接收器 (或收发器) 的磁矩大致对齐的分量。此外, 三轴向天线收发器允许确定诸如倾角、各向异性、邻层影响的地层特性。

[0048] 图 4 显示对于存在具有电阻率对比为 1-10ohm 的边界时在发射器 - 接收器距离为 10 英尺、30 英尺、60 英尺和 90 英尺的情况下获得的 10kHz 振幅测量值的探测深度的示例。假设钻柱 (因此电阻率阵列) 平行于边界并且位于远离边界的各种距离处。如图 4 中所示, 10 英尺阵列对边界不是非常敏感; 10 英尺阵列显示仅在边界附近的细微大小变化。30 英尺阵列比较敏感, 从而显示在边界处的不同过渡 (transition)。60 英尺更加敏感; 60 英尺显示边界周围显著的电阻率过渡。在此发射器 - 接收器间隔处, 信号大小在远离边界大约 20-40 英尺处开始变化。在 90 英尺阵列的情况下, 信号大小变化得更加显著。要认识的是不同探测深度的组合允许不同径向距离处的地质构造的演变。模块化设计使得易于构造用于不同阵列间隔的测井仪。此外, 使用一个或多个三轴向天线作为发射器和 / 或接收器会增加可以获得的间隔, 这提供了相应增加的 DOI。

[0049] 作为收发器的模块接头

[0050] 本发明的一些实施例涉及具有收发器天线的电阻率阵列设计。在这些测井仪中, 天线没有被设计成分开的发射器或接收器。相反, 同一天线可以用作发射器或接收器。除了有利于经济之外, 如图 3 中所示, 这种提高对于相同数量的接头来说允许更多的探测深度。

[0051] 图 3 显示具有三个接头 41、42、43 的测井仪模块 40, 所述三个接头形成具有间隔 D 和 DX2 的两个阵列。因为天线 41 和 43 可以用作发射器或接收器, 因此具有 DX3 间隔的第三阵列还可通过这种测井仪结构得到。此外, 利用收发器天线, 在不需要必须具有属于公共井下工具的发射器和接收器的情况下还可以执行定向测量。例如, 可以首先利用作为发射器的天线 41 和作为接收器的天线 43、然后利用作为发射器的天线 43 和作为接收器的天线 41 而获得一组对称的测量值。

[0052] 作为发射器 / 收发器的远距离接头

[0053] 本发明的一些实施例涉及具有远离其它 BHA 工具（例如，接收器或发射器）放置的天线接头的测井仪。井通常具有限制 BHA 的实际长度的弯曲和转向。因此，传统的电阻率测井仪不能具有被间隔开大于 BHA 的实际长度极限（大约 150 英尺）的距离的发射器和接收器。这种测井仪不能提供当放置在具有超过标准钻具组件的最大实际长度的厚度的储层内的井轨迹时可能需要的探测深度。

[0054] 图 5 显示根据本发明的一个实施例的装入远距离接头的电阻率阵列。如图所示，电阻率阵列包括在 BHA 内的传统的 UDR51。UDR 包括三个天线（发射器、接收器或收发器）52、53、54。此外沿着钻柱，电阻率阵列还包括远距离模块 55，所述远距离模块包括发射器、接收器、或收发器。远距离模块 55 中的天线可以与天线 52、53、54 中的任一个一起使用以形成具有大间隔的阵列。通过将远距离模块 55 与 BHA 中其它传统的电阻率测井仪一起使用，发射器-接收器距离（即，阵列间隔）可以被设置到任意期望的距离。远距离模块 55 可以被独立供给动力。此外，远距离模块 55 可以通过例如无线遥测技术来操作。在一个实施例中，一个或多个钻铤 63 可以位于远距离模块 55 与天线 52、53、54 中的一个或多个之间。

[0055] 远距离模块 55 的位置可以被选择成大约为储层厚度（或大于所述储层厚度）。使阵列间隔大约为储层厚度（或大于所述储层厚度）可以提供传统的电阻率测井仪以其它方式得不到的不同的优点。

[0056] 例如，图 7C 和图 7D 显示长阵列（所述长阵列的间隔大约为 130 英尺的地层厚度）的振幅响应更加简单并且清楚地表示地层界面在哪儿。这种额外长的阵列（尤其是在低频区）的响应对储层内部的复杂性不敏感。与此相反，如图 7A 和图 7B 中所示，传统的现有技术电阻率阵列（所述传统的现有技术电阻率阵列的间隔小于 130 英尺的地层厚度）的振幅响应对层内的电阻率变化比较敏感，但是对地层界面却不是很敏感。来自图 7A-7D 的结果显示可以根据正在被钻进的储层的特性（例如，预期的地层厚度或最低储层层电阻率与盖层和储层底部的电阻率的比值）有利地选择传感器距离（阵列间隔）和操作频率。

[0057] 具有在钻头处的接头的先行电阻率测井仪

[0058] 本发明的一些实施例涉及具有先行能力的电阻率测井仪。根据本发明的实施例，接头可以紧邻钻头以类似于授予 Schaff 等人并转让给本发明的受让人的美国专利 No6, 057, 784 中所述的方法放置。所述专利通过引用在此全文并入。此外，天线还可以放置在旋转导向工具上或者直接放置在钻头内。通过将收发器放置在钻头处，在每一对发射器/接收线之间的中间距离所取的电阻率测量点更靠近钻头移动，从而允许随钻时更快的反应时间。这种能力允许根据地质事件而发生早期的实时动作。此外，还可以通过使用延伸超过电阻率传感器对的测井仪响应末端实现钻头的先行能力。

[0059] 图 6 显示根据本发明的一个实施例的电阻率阵列的一个示例。如图所示，电阻率测井仪 70 包括在钻柱的一个端部处的钻头 14。天线 73（所述天线可以是发射器天线或接收器天线）紧邻钻头 14 设置在钻柱上。此外，电阻率阵列包括具有三个收发器模块 52、53、54 的 UDR51，所述三个收发器模块可以用作接收器或发射器。虽然在此示例中显示了三个收发器模块，但是本领域的普通技术人员将认识到这种测井仪可以具有或多或少的收发器模块。此外，接收器模块或发射器模块可以替换一个或多个收发器模块。在一个实施例中，天线 73 可以是钻头 14 的部件。

[0060] 根据本发明的一些实施例，钻头附近的天线 73 具有非纵向磁矩，即，天线 73 的磁

矩不在平行于钻柱轴线的方向上。天线 73 的非纵向磁矩确保天线 73 具有在横向方向（即，垂直于钻柱轴线的方向）上的磁矩分量。此外，收发器模块中的至少一个（例如，52、53、54）包括三轴向天线，其中三个天线具有在三个不同方位上的磁矩。在一些情况下，三轴向天线可以具有在三个正交方位上的磁矩。三轴向天线模块将确保三轴向天线的横向分量中的至少一些可以形成与钻头附近的天线 73 的横向分量的大致耦合。钻头附件的天线 73 可以是发射器、接收器、或收发器。通常，因为接收器天线可以经受来自增加振动和震动或来自可能存在的高功率旋转导向测井仪的更高的电噪音，因此对于钻头附近的天线 73 来说优选的是发射器。因此，可以包括动力导向部件的马达模块 16 可能破坏接收器天线。

#### [0061] 多频率测量

[0062] 本发明的一些实施例涉及使用多频率用于电阻率测量的测井仪和方法。根据本发明的实施例，可以选择频率以更加有效地覆盖频谱，从而提高深电阻率测量的反演精度和灵活性。例如，根据本发明的一些实施例，可以在每十个一组分布三个或更多个频率的情况下获得测量值。在钻井之前或随钻时可以设定或自动选择这些频率，以提供最佳的地层反演。发射器 - 接收器距离与频率的组合在确定具有复杂内部层的储层外界面时是必须的。对于最大灵敏度来说，天线间隔和频率的组合优选地被选择为遵从以下方程。

[0063] 定义传播系数  $k$  为： $k^2 = \epsilon \omega^2 + i \sigma \mu \omega$  其中： $\epsilon$  是电磁介电常数， $\mu$  是电磁磁导率， $\sigma$  为电导率，而  $\omega$  为角频率。如果  $L$  表示发射器 - 接收器间隔，则使得： $|k|L \in [0.1, 10]$ 。优选地选择频率以满足此判据。

[0064] 可以使用本领域公知的任意实施方法来有效地执行多频率测量。例如，图 8 显示用于多频率测量的电阻测量序列的示例。在图 8 中所示的方法中，假设所有 TX 脉冲具有被控制的振幅。此外，本领域的普通技术人员将认识到在脉冲方法中，如图 8 中所示，可以实现单个脉冲以发射两个或更多个频率。可以通过测量当被接收器感测的实际电压来执行信号测量。可选地，信号可以作为一对不同频率的脉冲之间的微分信号而被测量。

#### [0065] 接头与现有 LWD 测井仪的组合

[0066] 本发明的一些实施例涉及具有远距离接头的电阻率阵列，所述远距离的接头如上所述具有其它传统的电阻率测井仪。例如，图 9 显示包括两个远距离接头的发射器 55A 和 55B、和传统的 LWD 电阻率测井仪的测井仪，所述传统的 LWD 电阻率测井仪可以用作用于远距离发射器模块的接收器以提供具有比传统的电阻率阵列可以具有的间隔大得多的间隔的阵列。本领域的普通技术人员将认识到具有用于接收电阻率信号的一个或多个天线的任意传统的电阻率测井仪可以与如这里所公开的远距离的接头发射器组合使用。使发射器模块与现有的“浅”LWD 测井仪（使用其电阻率天线作为深电阻率接收器）结合的选择允许具有合理化和集成测量能力。

#### [0067] 多绕组天线

[0068] 本发明的一些实施例涉及可以在宽频范围内有效使用的天线。当天线用于在一定频率下发射电阻率信号时，当频率在天线的自谐振频率以下时天线最有效。因此，当在宽频率范围内使用具体的天线时，天线在一定频率范围内可能不会有效。例如，为了在最高频率下发射，天线的匝数的数量应该足够低到线圈自谐振以下。另一方面，为了在较低频率下优化发射，需要增加匝数的数量。因此，传统的天线通常具有表示对想要的工作频率范围作出妥协的绕组。

[0069] 根据本发明的一些实施例,天线可以具有多层绕组;对于高频率来说,多层绕组中的每一层都可以并联缠绕,或者对于较低频率来说,所述多层绕组中的每一层都可以串联缠绕,以有效地平衡当通过恒定电压驱动时天线的阻抗载荷。可以以电子方式控制串联和并联结构之间的切换。

[0070] 图 10 显示根据本发明的一个实施例的示例性天线。在此示例中,线圈层 101A-101C 串联连接以最大化低频率(例如,大约 1kHz 范围)下的发射中的匝数的数量,或者对于较高频率范围(例如,100kHz)来说所述线圈层并联连接。线圈层 101A-101C 绕心轴 102 缠绕。本领域的普通技术人员将认识到在天线中可以使用多层线圈以提供对天线性能的微调谐。

[0071] 其它电阻率测量技术的扩展

[0072] 诸如美国专利 No6, 188, 222 中所公开的传统的深电阻率测量基于感应机理,并且测量信号振幅,而不是测量相位或相移或衰减。本发明的一些实施例涉及基于传播机理的深电阻率测量,并且通过引入接收器天线测量相移和衰减(即,差分测量),且接收器对之间的间隔在大约 5-10 英尺,其中 5-10 英尺明显地比传统的传播测井仪中的接收器对间隔(通常限于小于一英尺)长。由于用于深 EM 测量的较低频率(1-200kHz),因此期望接收器对之间更长的间隔。接收器对之间大约 5-10 英尺的间隔将确保可以测量的最小相移保持在 01 度范围内。

[0073] 除了使用接收器对之外,还可以利用诸如图 8 中所示的脉冲方法的适当的脉冲方法执行相位和振幅的微分测量(即,相移和衰减)。图 8 中所示的测量方法可以使用具体频率下的发射脉冲中的一个(多个)作为时间参考。假设脉冲串中的脉冲之间的恒定相位参考(或时间差)(还可以通过无线遥测技术测量此时间差,并将所述时间差通信给接收器),可以相对于参考脉冲确定用于所接收的脉冲串的相位参考(或时间差)。

[0074] 相同的技术(使用参考脉冲的振幅用于比较)还可以应用于脉冲串中的每一个脉冲与参考脉冲之间的振幅比。在这种情况下,发射器处的振幅比可以保持恒定或可以测量所述振幅比。当需要振幅测量时,脉冲到达时间和振幅比的差分技术减少了测量值对用于振幅测量精确的空气校准的相关性。

[0075] 作为示例,图 11A-11F 显示了对于具有 1ohm 和 100ohm 的电阻率对比的平坦边界使用具有 70 英尺发射器-接收器间隔的测井仪的各种测量值。此测井仪具有发射器天线和接收器天线,所述发射器天线和接收器天线具有纵向磁矩(即,在平行于测井仪的纵向轴线的方向上的磁矩)。

[0076] 图 11A 和图 11B 分别显示在不同频率下的振幅测量值和相对振幅测量值。在图 11B 中,相对振幅测量值相对于 2KHz 处的振幅测量值。图 11C 和图 11D 分别显示在不同频率下的相位测量值和相对相位测量值。在图 11D 中,相对相位测量值相对于 2KHz 处的相位测量值。

[0077] 图 11E 和图 11F 分别显示当利用具有 8 英尺间隔的一对接收器进行测量时在不同频率下的相位测量值和衰减。在这种间隔的情况下,可以容易地观察到相位和衰减的显著变化。两个测量值都提供具有不同灵敏度的另一组测量值,允许在反演过程期间使用更多的独立测量值。

[0078] 本发明的一些实施例涉及地质导向。根据本发明的实施例的地质导向方法可以使

用上述和 / 或使用上述方法 (例如, 多频率测量, 脉冲方法的使用等) 的任意电阻率阵列。测量值例如可以产生层方位角、地层界面指标 (indicator)、和到地层界面的距离。层方位角是诸如重力加速度矢量的负数和地层界面的平面的法线的参考方向。虽然还可以使用其它响应函数, 但是地层界面指标例如可以使用电磁耦合系数由对称响应获得。如这里所使用的, “地层特性” 可以包括这种地层参数。

[0079] 具有本发明的上述实施例的所有测量值可以扩展到方向测量值。方向测量值允许对边界具有更高的灵敏度, 并且将相应地改进反演过程。在一些实施例中, 天线 (一个或多个) 将具有与标准“轴向”天线结合的横向磁偶极子, 以从同一天线提供两个测量值。在三轴向天线中, 如上所述, 一部分可以与 BHA 的轴线对齐, 而其它两部分相对于所述 BHA 成角度。如果期望, 还可以通过本发明的实施例实现传统的屏蔽。将要认识的是可以使用多个公知天线设计和封装方法中的一个实施本发明的实施例的天线 (和相关电子设备)。例如, 美国专利 No6, 188, 222 中所述的测井设备可以用于实施本发明。

[0080] 虽然以上说明使用随钻测井仪以说明本发明的各种实施例, 但是本发明的测井仪不限于任何具体模式的输送模式。因此, 本发明的测井仪可以例如用于随钻测井、随起下钻测井、挠性油管钻井、通过钻头测井、衬管钻井、套管钻井操作。

[0081] 虽然上述实施例总体涉及线圈或环形天线型天线, 但是可以使用诸如螺旋管的其它天线类型。线圈或环形天线可以被认为是用作磁偶极子, 而螺旋管天线可以被认为是用作电偶极子。因此, 在所有情况下, 天线可以被认为是具有电偶极矩或磁偶极矩。

[0082] 为了提供方向灵敏测量值, 至少一个天线必须倾斜或横向。“倾斜”表示具有倾角, 且倾角是天线的偶极矩与模块的纵向轴线 (或平行于所述纵向轴线的线) 之间的角度, 其中, 所述角度大于零但是小于九十度。“横向”表示偶极矩与模块的纵向轴线之间的角度是 90 度。图 12 显示模块 200 和单个天线 202, 其中天线 202 具有倾角  $\gamma$  和方位角  $\beta$ 。方位角  $\beta$  是模块固定坐标系的 x 轴与偶极矩在模块固定坐标系的 x-y 平面上的投影之间的角度。模块固定坐标系的 z 轴沿模块的纵向轴线, 而 x 轴和 y 轴最终构成正交右手系。

[0083] 图 13 显示单个发射器天线 204 和单个接收器天线 206。虽然倾角可以相等, 但是发射器天线 204 具有倾角  $\gamma_T$  和方位角  $\beta_T$ 。接收器天线 206 具有倾角  $\gamma_R$  和方位角  $\beta_R$ 。发射器天线 204 与接收器天线 206 之间的相对方位角为  $\beta$ ,  $\beta$  等于  $\beta_R - \beta_T$ 。如符合于本发明的所有实施例, 天线 204、206 可以位于同一模块或单独的模块上。通过互换原理, 发射器和接收器的作用可以互换并且所述发射器和接收器的结构也在本发明的保护范围内。

[0084] 图 14 显示几个示例性天线结构。结构 (a) 显示其中倾角不同的单个发射器 204 和单个接收器 206。天线的方位角也不同。在本发明的保护范围内, 每一个天线都具有方位角和倾角, 并且这些角度可以相同或可以不相同。发射器和接收器包括可以用于进行测量的天线对。2007 年 7 月 10 日提出申请并转让给本申请的受让人的美国专利申请 No11/775, 435 公开了结构 (a)。

[0085] 图 14 的结构 (b) 显示两个发射器天线 204、208 和接收器天线 206。发射器天线 204、208 被显示为共同定位, 但是不是必需要共同定位。所有天线的倾角和方位角彼此无关, 并且可以相等或可以不相等。两个发射器 / 接收器对允许两个测量值, 并且可以由这些测量值获得相对较多的信息。

[0086] 图 14 的结构 (c) 显示两个发射器天线 204、208 和两个接收器天线 206、210。发射

器天线 204、208 和接收器天线 206、210 被分别显示为共同定位,但是不是必需要共同定位。所有天线的倾角和方位角彼此无关,并且可以相等或可以不相等。四个发射器 / 接收器对允许四个测量值,并且可以由这些测量值获得相对较多的信息。

[0087] 图 14 的结构 (d) 显示两个发射器天线 204、208 和三个接收器天线 206、210、212。接收器天线 206、210、212 被分别显示为共同定位,但是不是必需要共同定位。所有天线的倾角和方位角彼此无关,并且可以相等或可以不相等。四个发射器 / 接收器对允许两个测量值,并且提供可与由结构 (c) 得到的测量值进行比较的信息。2006 年 12 月 14 日提出申请并转让给本发明的受让人的美国专利申请 No. 11/610653 公开了结构 (d),如在该专利申请中所披露的,这种天线结构允许确定电磁耦合张量的所有分量。

[0088] 图 14 的结构 (e) 显示两个发射器天线 204、208 和三个接收器天线 206、210、212。一些天线被显示为共同定位,但是不是必需要共同定位。所有天线的倾角和方位角彼此无关,并且可以相等或可以不相等。六个发射器 / 接收器对允许六个测量值。

[0089] 图 14 的结构 (f) 显示三个发射器天线 204、208、214 和三个接收器天线 206、210、212。一些天线被显示为共同定位,但是不是必需要共同定位。所有天线的倾角和方位角彼此无关,并且可以相等或可以不相等。九个发射器 / 接收器对允许九个测量值。

[0090] 图 14 的结构 (g) 显示了三个模块 216、218、220。模块 216 具有发射器天线 204。模块 218 具有三个接收器天线 206、210、212,而模块 220 具有三个接收器天线 222、224、226。一些天线被显示为共同定位,但是不是必需要共同定位。所有天线的倾角和方位角彼此无关,并且可以相等或可以不相等。由不同发射器 / 接收器模块对得到的各种测量值构成绝对测量值,所述绝对测量值为两个不同探测深度提供电磁耦合信息。此外,可以使用来自不同接收器模块的测量值获得相对测量值。根据来自天线 204 的发射,例如由接收器 206 和 222 接收到的信号之间的差提供相对测量值。结构 (g) 是具有多于两个模块的实施例的一个可能示例,但是其它组合是可以的。

[0091] 图 14 的结构 (h) 显示四个模块 216、218、220、228。模块 216 具有发射器天线 204,而模块 228 具有发射器天线 230。模块 218 具有三个接收器天线 206、210、212,而模块 220 具有三个接收器天线 222、224、226。一些天线被显示为共同定位,但是不是必需要共同定位。所有天线的倾角和方位角彼此无关,并且可以相等或者可以不相等。这种结构允许进行井眼补偿测量。允许井眼补偿测量的其它结构也是可以的。

[0092] 结构 (i) 显示模块 216 和模块 232。模块 216 具有发射器天线 204,其中天线 204 是横向的。模块 232 具有三轴向天线 234。“三轴向天线”表示具有三个天线的天线结构,所述三个天线的偶极矩位于三个垂直轴线上,并且其中一个天线的偶极矩平行于模块的纵向轴线。三轴向天线可以被共同定位或者可以不共同定位。此实施例显示其中可以测量横向 / 横向耦合以及横向 / 轴向耦合的一种可能的结构。

[0093] 结构 (j) 显示模块 228 和模块 232。模块 228 具有发射器天线 204,其中天线 204 是倾斜的。模块 232 具有三轴向天线 234。三轴向天线可以被共同定位或可以不共同定位。此实施例显示具有倾斜 / 横向天线组合的一种可能的结构。

[0094] 图 15 显示具有模块 236 和模块 238 的实施例。模块 236 具有倾斜天线 240。模块 238 具有没有被共同定位的三个倾斜天线 242、244、246,虽然所述三个倾斜天线可以被共同定位。发射器天线和接收器天线的倾角可以全部相等,但是不是必需要全部相等。接

收器天线被对称放置成绕模块 238 的纵向轴线间隔 120 度方位角,但是这再次不是必需的。

[0095] 虽然公共组件上的天线之间的相对方位角是已知的,但是所述相对方位角对于单个模块上的天线可能是不正确的。例如,由于钻柱如何装配在井位的变化或者由于钻井时的扭应变,来自不同模块的天线可以相对于彼此以方位角的方式旋转。如果在每一个模块上存在旋转传感器,则可以确定相对方位角。

[0096] 当发射器天线 (T) 被激励,并且测量接收器 (R) 处的信号 (V) 时,所述信号通过以下方程与 T 和 R 的方位和强度有关:

$$[0097] \quad V = \bar{R} \cdot \bar{C} \cdot \bar{T} = [x_R \ y_R \ z_R] \begin{bmatrix} xx & xy & xz \\ yx & yy & yz \\ zx & zy & zz \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} \quad (\text{方程 1})$$

[0098] 其中,  $x_R$ 、 $y_R$ 、和  $z_R$  是显示接收器天线的强度和方位的矢量的分量,而  $x_T$ 、 $y_T$ 、和  $z_T$  同样是发射器天线的强度和方位的矢量的分量。C 是电磁耦合张量。例如,C 的分量被定义为当指向 z 轴的发射器被激励时通过指向 y 轴的接收器测量的信号 yz。沿轴线中的一个定向的天线仅具有非零的 T 矢量或 R 矢量的一个分量。倾斜天线在 T 矢量或 R 矢量中具有超过一个的非零分量。以下首先考虑倾斜天线的情况。

[0099] 对于其中至少一个天线被倾斜的 T-R 天线组合来说,在接收器处由从发射器发射的电磁场感生的电压由方程 (2) 给出,方程 (2) 显示电压可以用方位角的直到二阶的傅里叶级数项来表示:

$$[0100] \quad V(\theta, \beta) = C_0 + C_{1c} \cos(\theta) + C_{1s} \sin(\theta) + C_{2c} \cos(2\theta) + C_{2s} \sin(2\theta) \quad (\text{方程 2})$$

[0101] 其中  $\theta$  是方位测井仪旋转角,并且定义一组复系数  $C_0$ 、 $C_{1c}$ 、 $C_{1s}$ 、 $C_{2c}$ 、和  $C_{2s}$  以表示电压的零阶、一阶、和二阶谐波系数:

$$[0102] \quad C_0 = [zz + \frac{1}{2}(xx + yy)\cos(\beta) + \frac{1}{2}(xy - yx)\sin(\beta)]; \quad (\text{方程 3a})$$

$$[0103] \quad C_{1c} [xz + zxcos(\beta) + zysin(\beta)] \quad (\text{方程 3b})$$

$$[0104] \quad C_{1s} = [yz + zycos(\beta) - zxsin(\beta)];$$

$$[0105] \quad (\text{方程 3c})$$

$$[0106] \quad C_{2c} = [\frac{1}{2}(xx - yy)\cos(\beta) + \frac{1}{2}(xy + yx)\sin(\beta)]; \quad (\text{方程 3d})$$

$$[0107] \quad C_{2s} = [\frac{1}{2}(xy + yx)\cos(\beta) - \frac{1}{2}(xx - yy)\sin(\beta)]; \quad (\text{方程 3e})$$

[0108] 其中  $\beta$  是接收器相对于发射器的方位角。这些方程显示对角度  $\beta$  以及耦合张量的分量的相关性。0 阶谐波系数取决于耦合分量 zz、(xx+yy)、和 (xy-yx)。两个一阶谐波系数取决于耦合分量 xz、zx、yz、和 zy;而二阶谐波系数取决于 (xx-yy) 和 (xy+yx)。

[0109] 在正常钻井操作中,在执行测量的同时测井仪正在旋转,因此对于每一个 T-R 对来说,根据方程 2 可产生具有不同  $\theta$  值的多个测量电压。当五个或更多个测量值不同但是已知时,可获得  $\theta$  值,可以确定谐波系数。这减少了求解如以上方程 3 所示的方程组的问题。然而,方程 3 包括五个方程,但是具有九个未知量,因此是欠定的。如果有三个接收器代替一个接收器,则可以求解所述方程,并且可以得到耦合张量的分量。

[0110] 在滑动钻进方式中,每一个 T-R 对提供具有已知  $\theta$  值的一个测量值,因此获得傅

里叶系数的任务不小,更不用说确定耦合矩阵的分量。但是,原理上,利用足够数量的 T-R 天线对 (5 个或多个 5 个),应该可以获得傅里叶系数,并且与上述旋转模式一样进行处理。这种实施例将需要一个 T 天线和五个 R 天线或与其相反:即,五个 T 天线和一个 R 天线。诸如两个 T 天线和三个 R 天线 (图 14e) 的其它实施例产生足以获得所有傅里叶分量的六个测量值。可选地,一个实施例可以使用产生九个测量值的三个 T 天线和三个 R 天线 (图 14f) 组合。

[0111] 对于其中没有获得耦合张量的分量的天线的情况 (例如,一个 T 天线和三个 R 天线) 来说,在滑动钻进方式中,以下方程产生耦合张力分量的一些组合。这些组合是有方向性的,并因此对井位以及确定电阻率参数有用。考虑其中至少一个天线是倾斜的一个 T 天线和三个 R 天线的情况 (图 14d),所述组合产生三个测量值:  $V_1(\theta, \beta_1)$ 、 $V_2(\theta, \beta_2)$ 、和  $V_3(\theta, \beta_3)$ ,其中 R 天线相对于发射器以方位角增加 120 度的方式分布在角度  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、和  $\beta_3$  处。使用以下关系:

$$[0112] \quad \sum_{i=1}^3 \cos(\beta_i) = \sum_{i=1}^3 \sin(\beta_i) = \sum_{i=1}^3 \sin(\beta_i) \cos(\beta_i) = 0$$

$$[0113] \quad \frac{2}{3} \sum_{i=1}^3 (\cos(\beta_i))^2 = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^3 (\sin(\beta_i))^2 = 1$$

$$[0114] \quad \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 2\pi$$

[0115] (方程 4)

[0116] 三个测量值的和将产生更加简单的关系:

$$[0117] \quad M_1 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 V_i(\theta, \beta_i) = zz + zx \cos(\theta) + zy \sin(\theta) \quad (\text{方程 5a})$$

[0118] 类似地:

$$[0119] \quad M_2 = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^3 V_i(\theta, \beta_i) \cos(\beta_i) = \frac{xx + yy}{2} + xz \cos(\theta) + yz \sin(\theta)$$

$$[0120] \quad + \frac{xx - yy}{2} \cos(2\theta) + \frac{xy + yx}{2} \sin(2\theta)$$

[0121] (方程 5b)

[0122] 和

$$[0123] \quad M_3 = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^3 V_i(\theta, \beta_i) \sin(\beta_i) = \frac{yx - xy}{2} + yz \cos(\theta) + xz \sin(\theta)$$

$$[0124] \quad + \frac{xy + yx}{2} \cos(2\theta) + \frac{xx - yy}{2} \sin(2\theta)$$

[0125] (方程 5c)

[0126] 方程 5 中的方程比用于原始电压的方程简单,并且更加容易计算。这些关系所有都包括使其为方向量的诸如  $xz$ 、 $zy$  等的交叉项。可以使用基于方程 5 的正演模式计算,并且耦合张量的分量可以以迭代的方式变化以再现实验测量值。耦合张量的分量则可以用于确定与地层界面的距离和诸如垂直电阻率、水平电阻率的电阻率参数、地层倾角、和方位角。因此,即使在滑动钻进方式中,此方法使得可以使用由一个 T 天线和三个 R 天线获得三



个测量值用于井位和电阻率确定。

[0127] 在其中地层由平行层,即,所谓的“平坦几何结构”,组成的地层的特殊情况中,有利的是以角度  $\alpha$  旋转测量值,使得测井仪框架的  $x$  轴垂直于地层的平面。在这种条件下,与  $y$  轴有关的耦合张量中的交叉项 ( $xy$ 、 $yx$ 、 $zy$ 、和  $yz$ ) 变为零,并且方程 5 被进一步简化为:

$$[0128] \quad M_{1p} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 V_i(\theta - \alpha, \beta_i) = zz + zx \cos(\theta - \alpha) \quad (\text{方程 6a})$$

$$[0129] \quad M_{2p} = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^3 V_i(\theta - \alpha, \beta_i) \cos(\beta_i) = \frac{xx + yy}{2} + xz \cos(\theta - \alpha) + \frac{xx - yy}{2} \cos(2(\theta - \alpha)) \quad (\text{方$$

程

$$[0130] \quad 6b)$$

[0131] 和

$$[0132] \quad M_{3p} = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^3 V_i(\theta - \alpha, \beta_i) \sin(\beta_i) = xz \sin(\theta - \alpha) + \frac{xx - yy}{2} \sin(2(\theta - \alpha))$$

$$[0133] \quad (\text{方程 6c})$$

[0134] 这些方程甚至更加容易工作,但是所述方程仅应用到设计几何结构的特殊情况。

[0135] 获得方程 5 或 6 中所示的量的过程从三个测量值开始并且构造这些测量值的具有更加理想特性的一些组合,如图 16 中所示。总之,如上所示,利用三个单独测量值,可以构造其它三个独立的组合。但是所述过程不局限于上述组合,并且总之许多其它组合是可以的。例如,一些组合可以是方程 6 中所示的关系的进一步组合:

[0136]

$$M_{sp} = 2(M_{2p} \sin(2(\theta - \alpha)) - M_{3p} \cos(2(\theta - \alpha))) = xz \sin(\theta - \alpha) + \frac{xx + yy}{2} \sin(2(\theta - \alpha))$$

$$[0137] \quad (\text{方程 7})$$

[0138] 与方程 6 中的关系相反,方程 7 中的所有项取决于测井仪的角位置。因此,本发明的方法允许使用测量的电压构造具有期望特性的组合。

[0139] 以下将所述方法应用到轴向天线和横向天线。轴向天线具有沿  $z$  轴(定义为测井仪的纵向轴线)的偶极子方向,而横向天线具有垂直于  $z$  轴的偶极子。当具有三个互相垂直的天线时,所述一组天线被称作为三轴向天线。如果存在三轴向发射器天线和三轴向接收器天线,则在滑动钻进方式中执行九个测量。如果两个模块都装配有方向传感器,则横向天线之间的相对角度将是已知的,并且方程 1 可以用于确定耦合张量的所有分量。因此,可以进行井位和电阻率确定。在其中存在较少天线的情况下,例如,如果仅一个发射器与三轴向接收器耦合(图 14i),则仅可以确定耦合张力分量中的一些。然而,这些分量足以确定电阻率参数。

[0140] 考虑轴向 T 天线和三轴向 R 天线系统的情况并且假设 R 天线相对于向上方向旋转方位角  $\theta$ 。三个测量电压为:

$$[0141] \quad V_{1t} = xz \cos(\theta) \quad (\text{方程 8a})$$

$$[0142] \quad V_{2t} = yz \sin(\theta) \quad (\text{方程 8b})$$

$$[0143] \quad V_{3t} = zz \quad (\text{方程 8c})$$

[0144] 因此,在对方位角进行校正之后,可以确定  $xz$ 、 $yz$ 、和  $zz$ ,其中首先两个是具有方

向性的。类似地,如果存在三轴向 R 天线和指向 x 轴的横向 T 天线,则在对方位角进行校正之后,确定  $x_x$ 、 $y_x$ 、和  $z_x$ ,其中所有三个分量是具有方向性的。清楚的是利用轴向天线和横向天线,在滑动钻进方式中仅需要一个 T 天线和三个 R 天线进行操作。然而,诸如对称和反对称函数的优选参数不能由这些测量推导出。

[0145] 图 16 显示用于在滑动钻进方式的同时确定地层特性的方法的一个实施例 300 的步骤。

[0146] 在用于确定地层特性的设备正在滑动的同时可应用用于确定地层特性的方法和设备具有适用性,而不管天线分布在多个模块上或在所述模块内,或者承载在单个模块上或在所述模块内。所述设备可以使用任意类型的运输装置在钻柱或电缆上被运输并且可以滑动。

[0147] 虽然根据传播测井仪说明了上述实施例,但是本发明也包括感应测井仪。如果使用感应测井仪,本领域所公知为补偿线圈的其它天线可以沿钻柱设置在不同的位置处。

[0148] 虽然已经相对于有限实施例说明了本发明,但是得益于此公开的本领域的技术人员将认识到可以设计没有背离如这里所公开的本发明的保护范围的其它实施例。因此,本发明的保护范围应该仅仅由所附权利要求来限定。

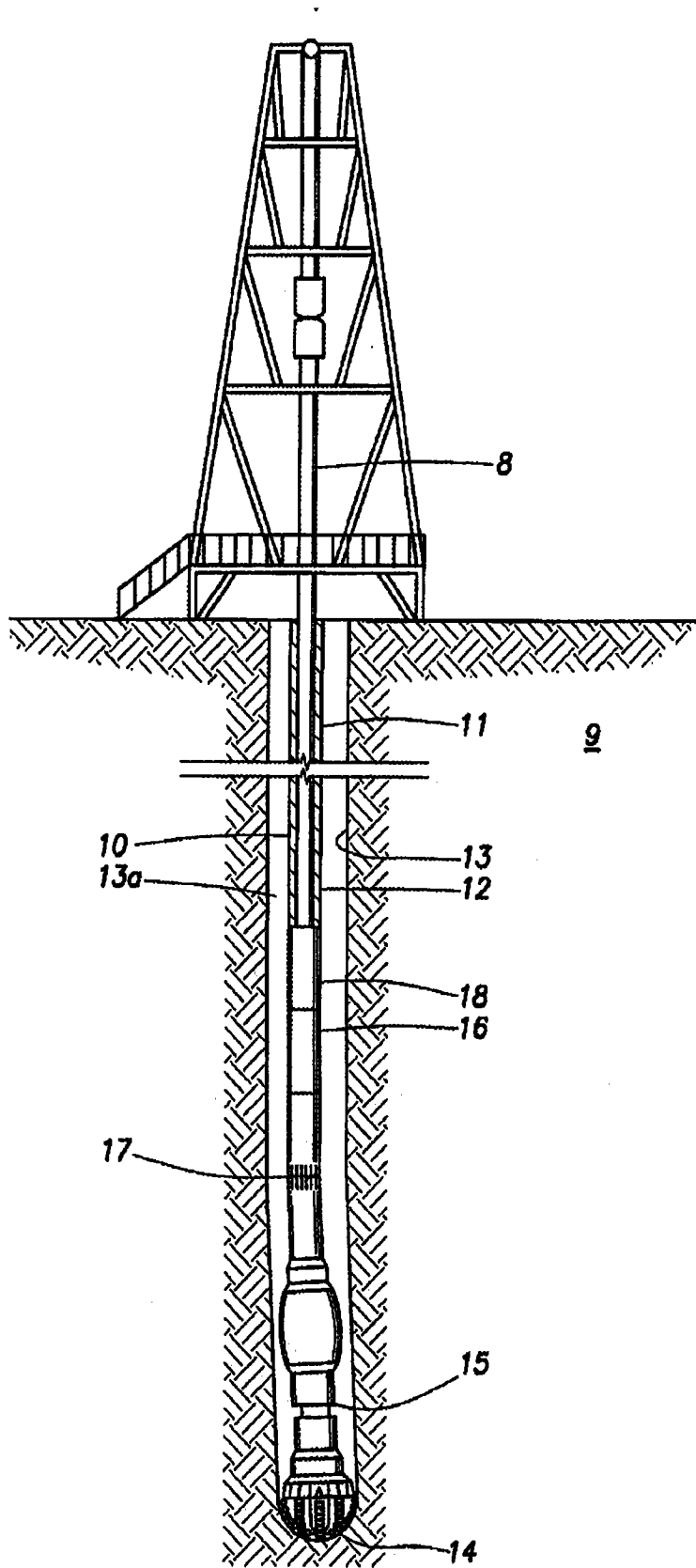


图1(现有技术)

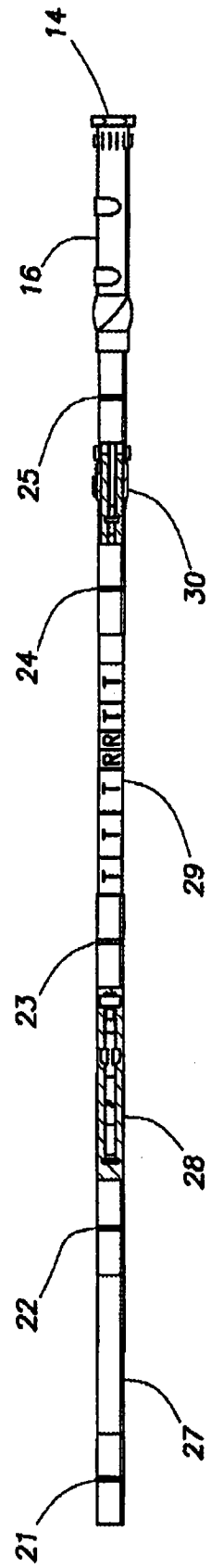


图2

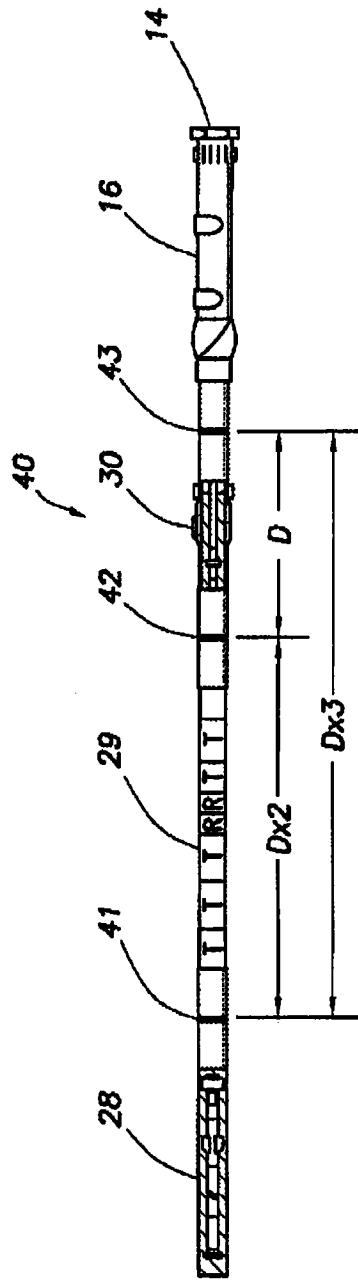


图 3

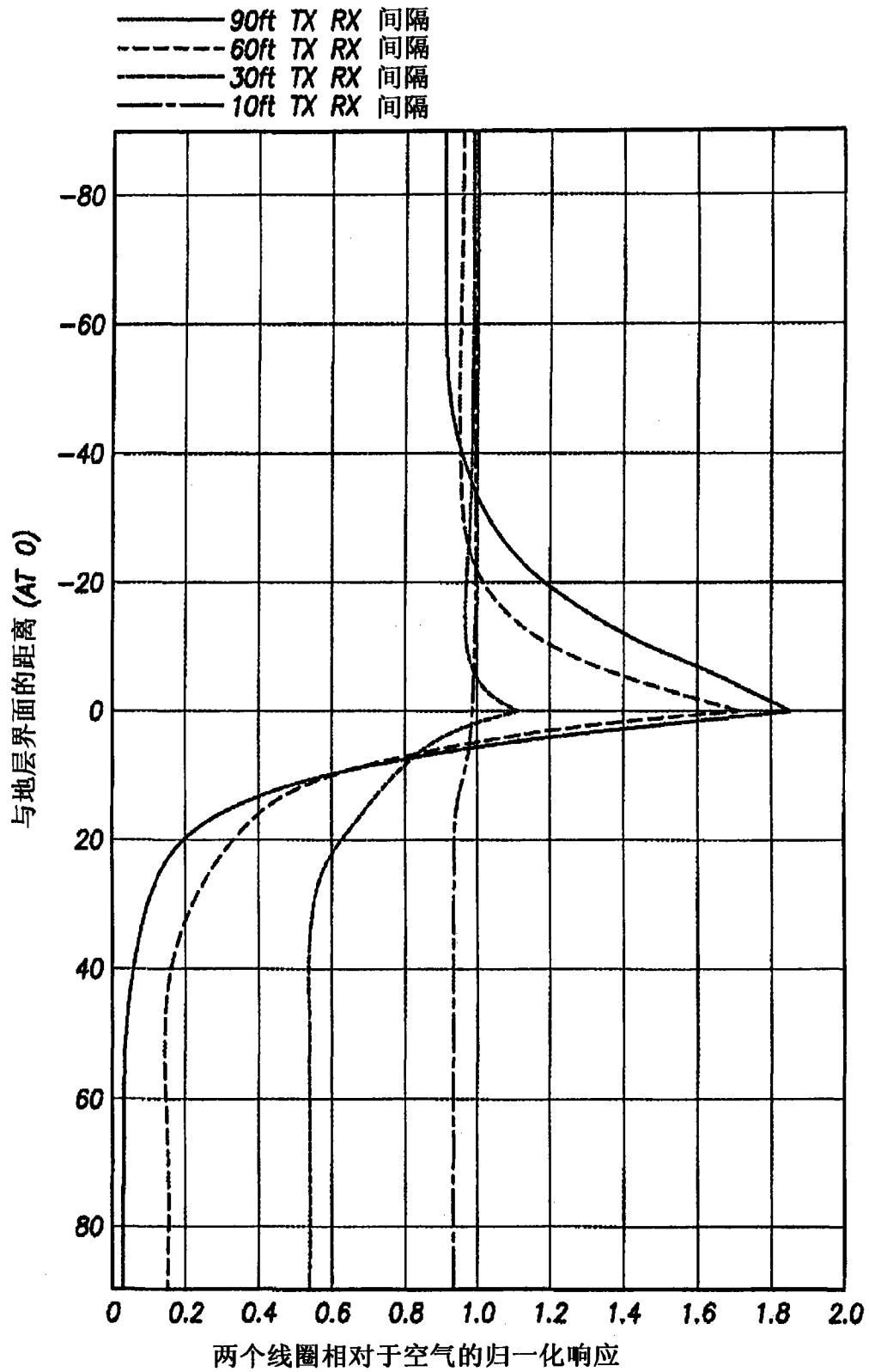


图 4

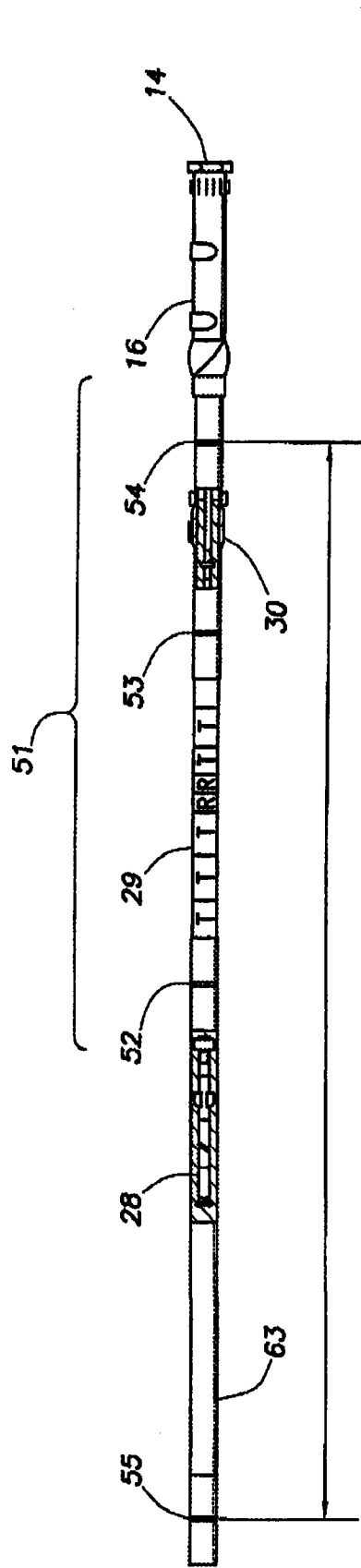


图 5

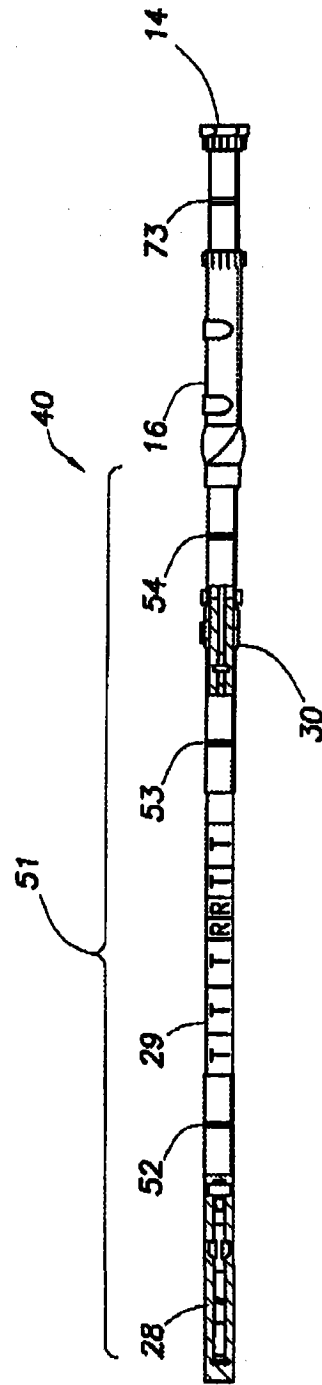


图 6

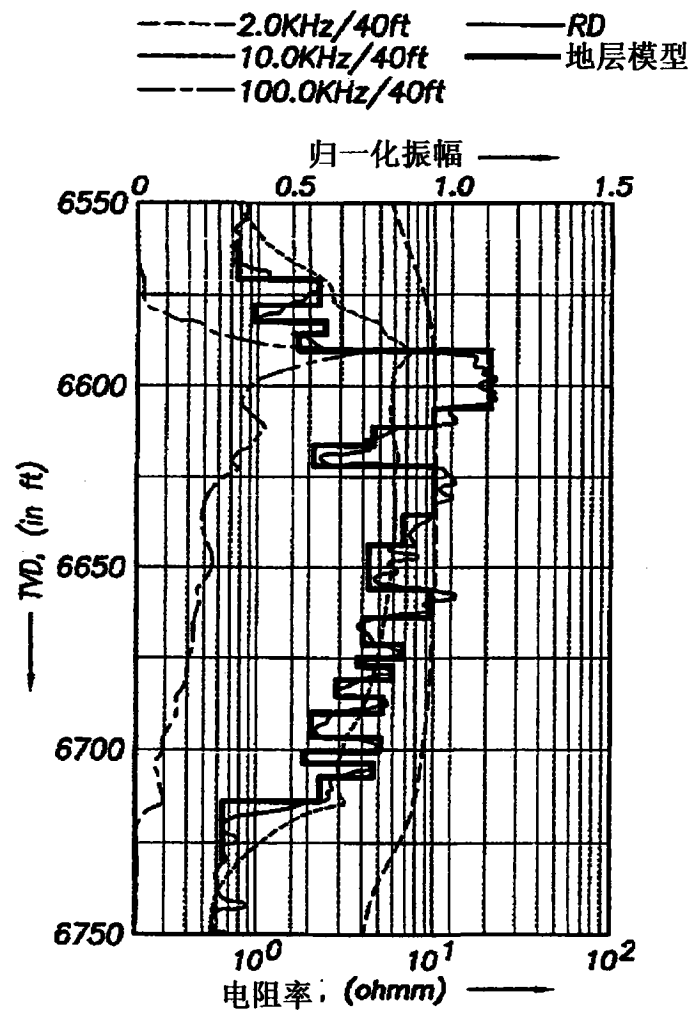


图 7A( 现有技术 )

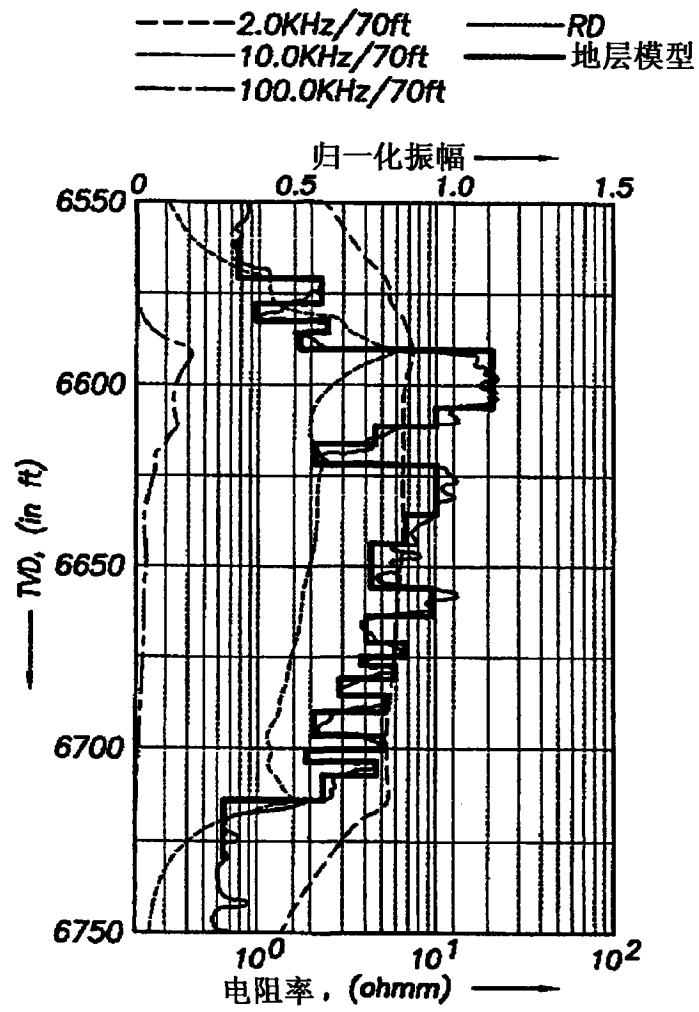


图 7B( 现有技术 )



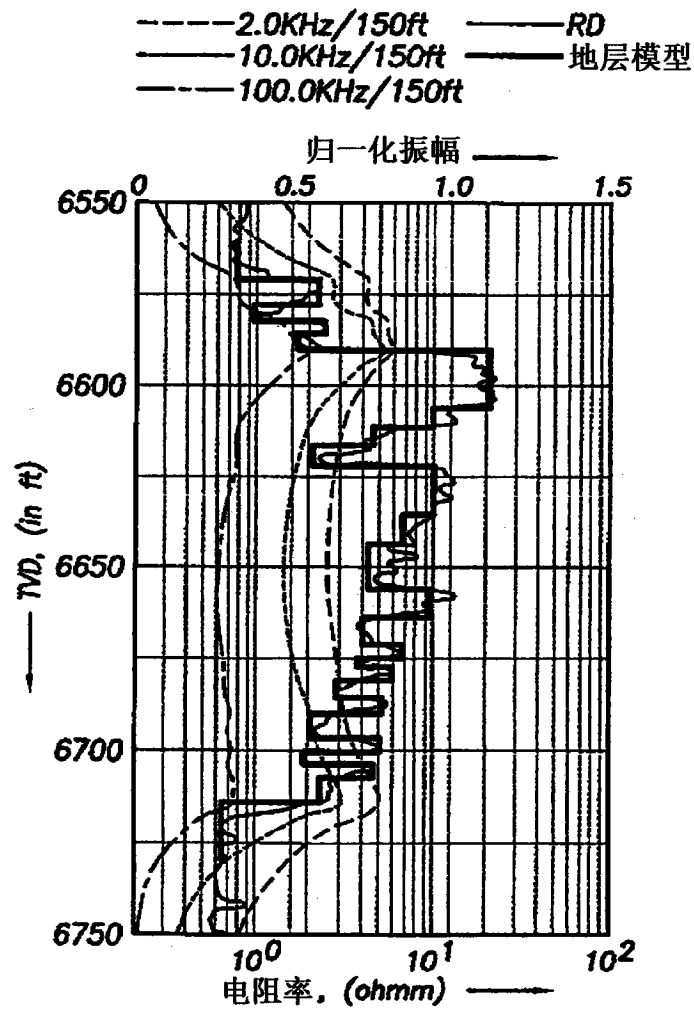


图 7C

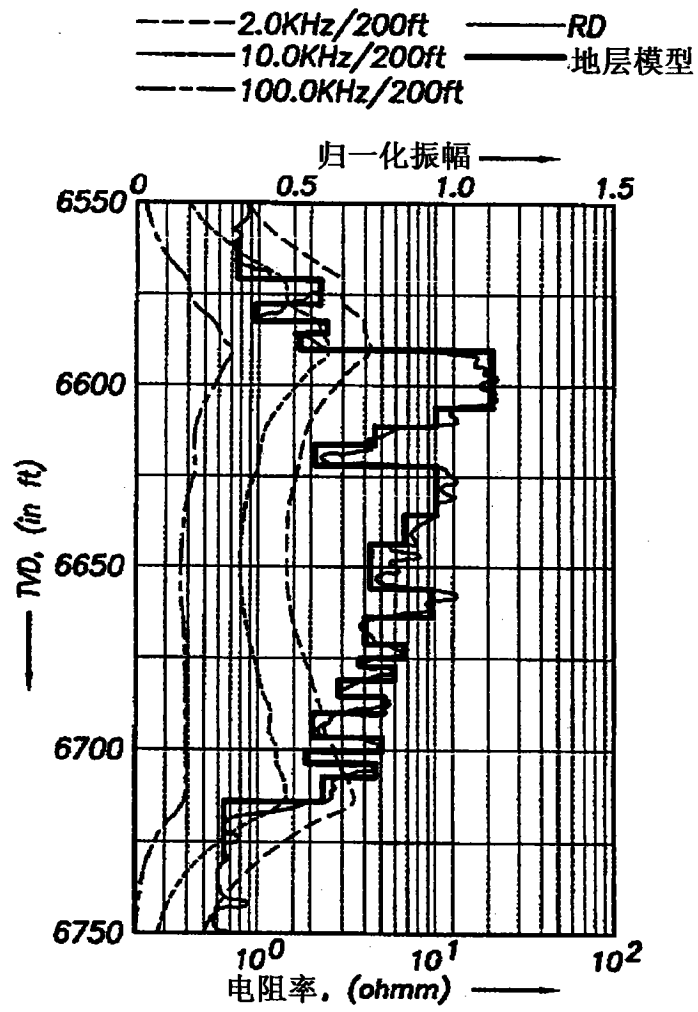


图 7D

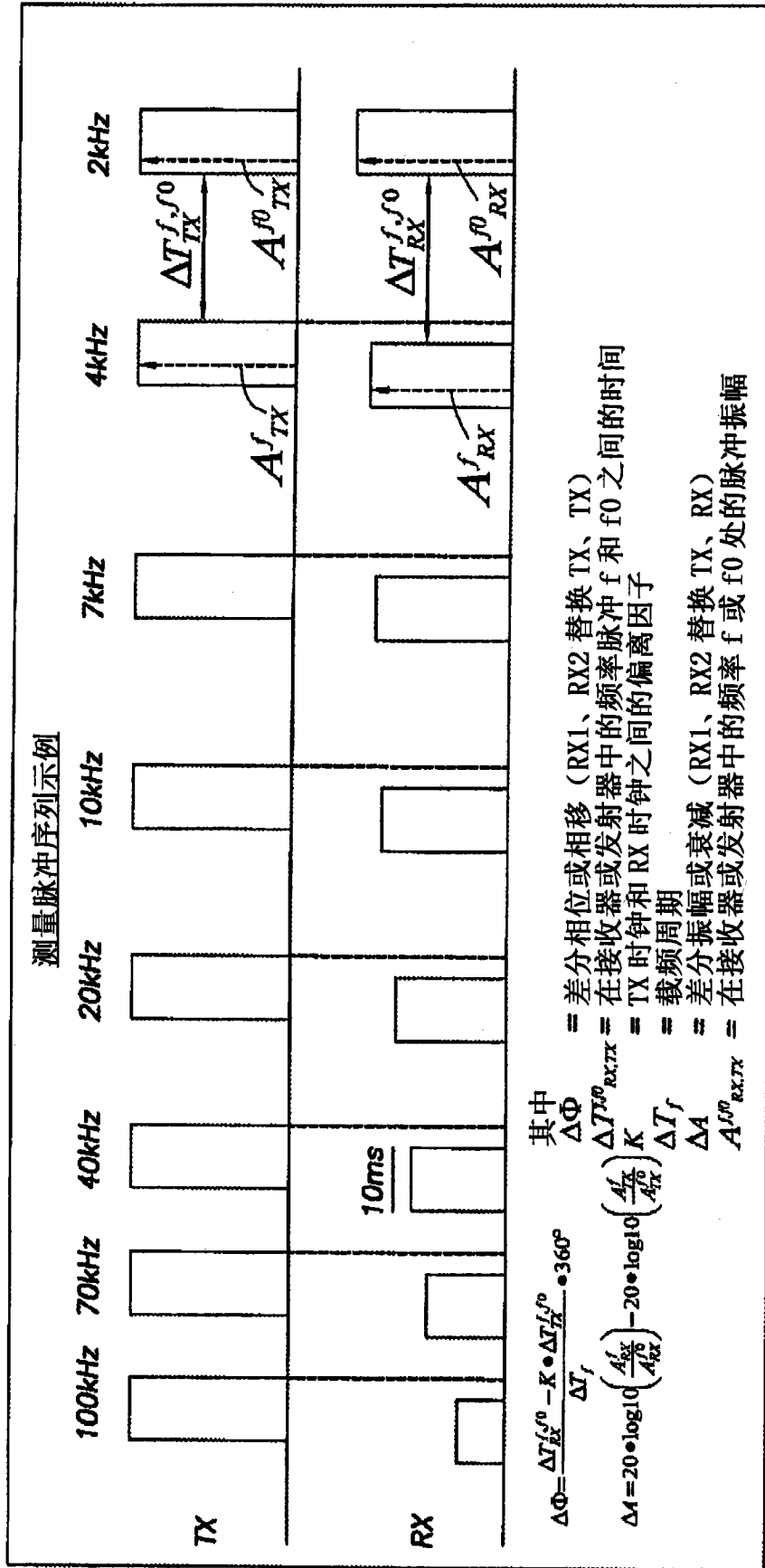


图 8

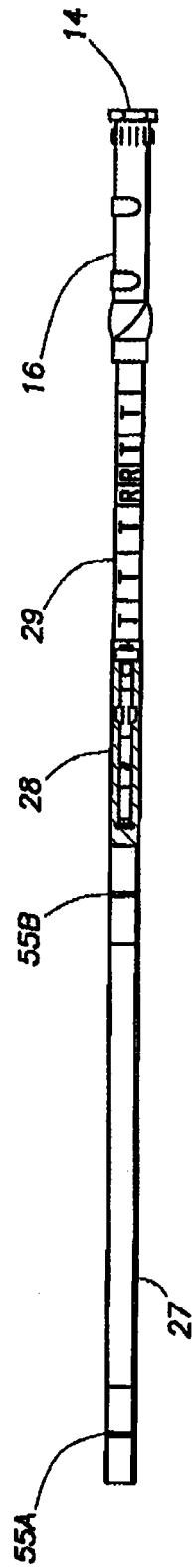


图 9

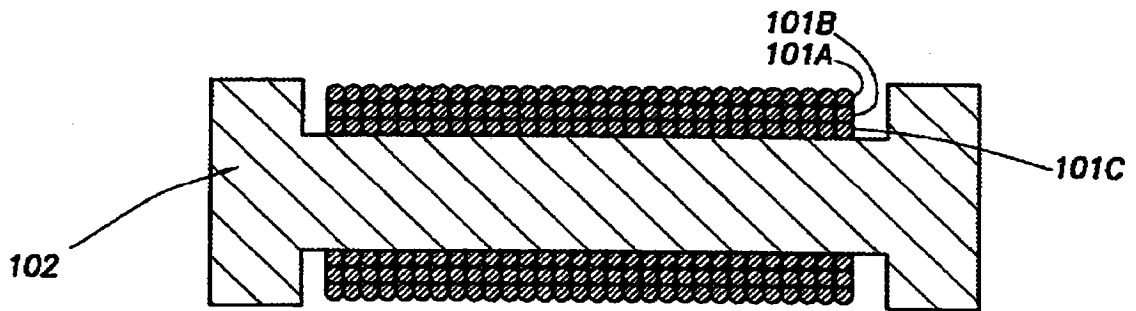


图 10

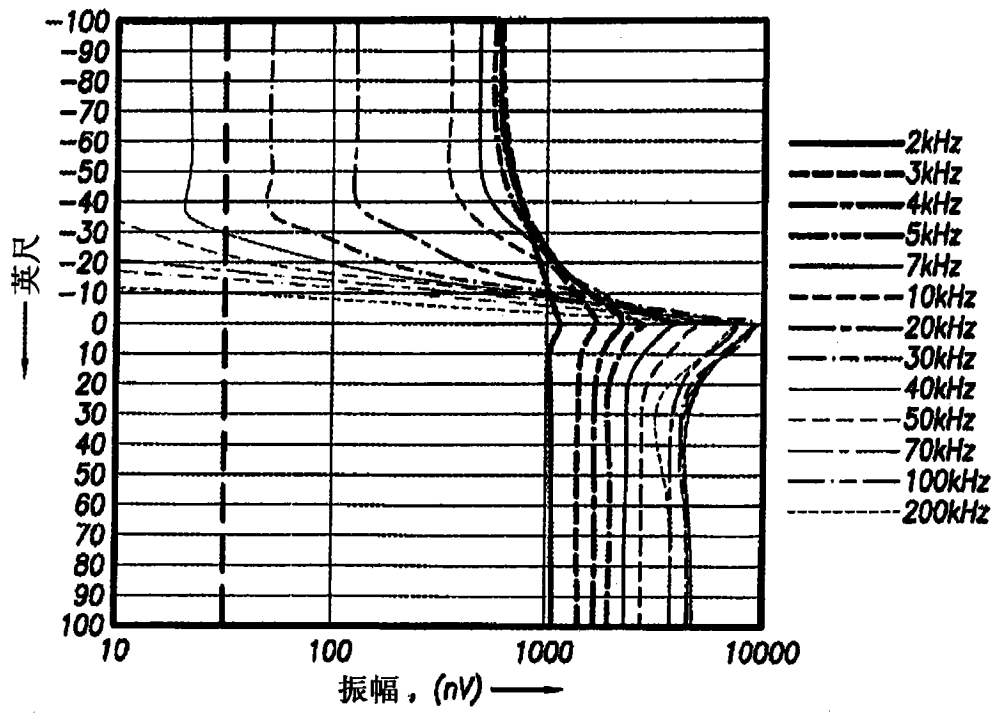


图 11A

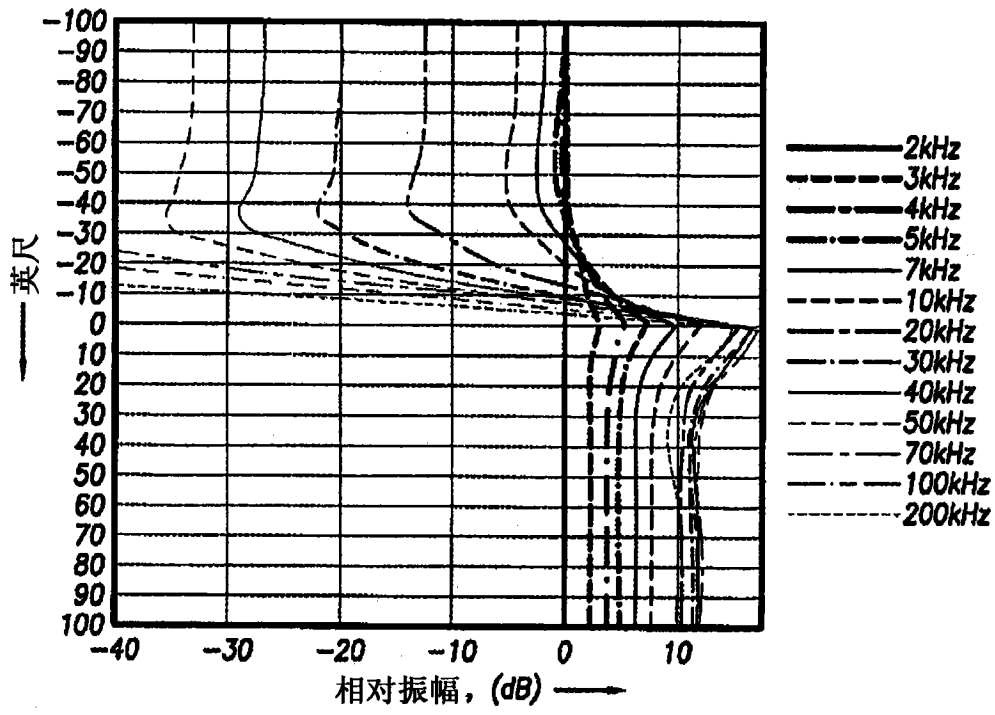


图 11B

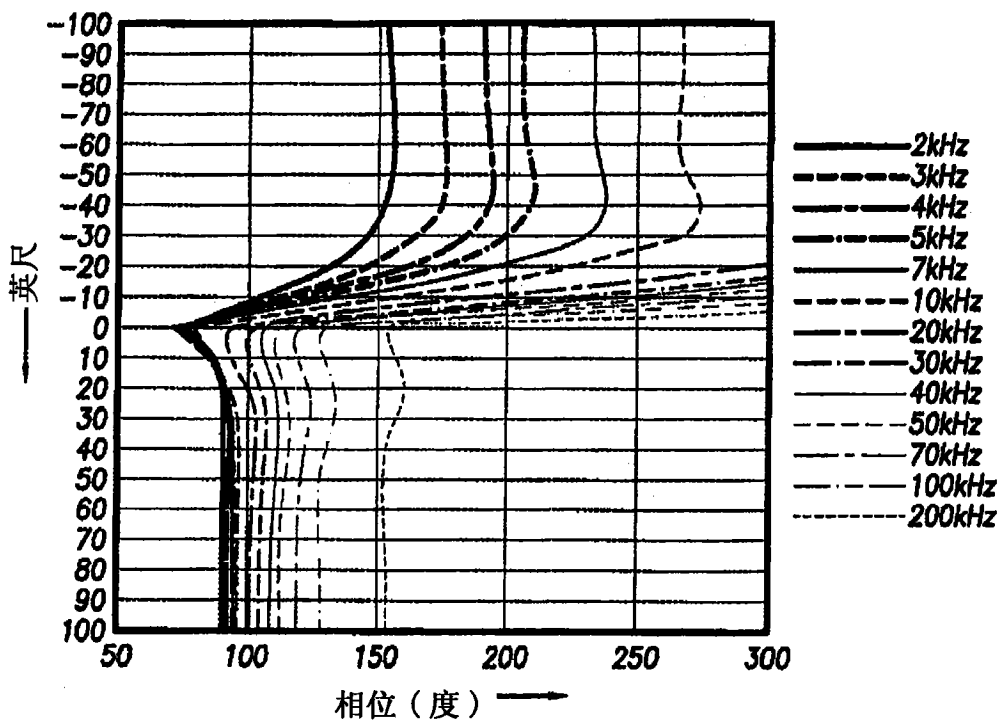


图 11C

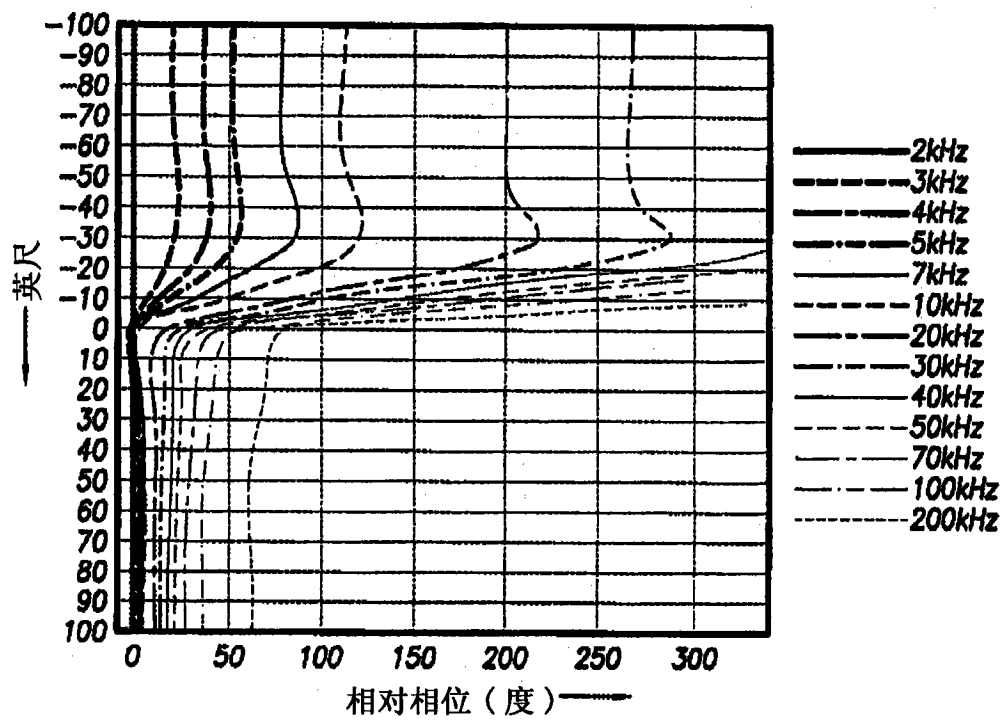


图 11D

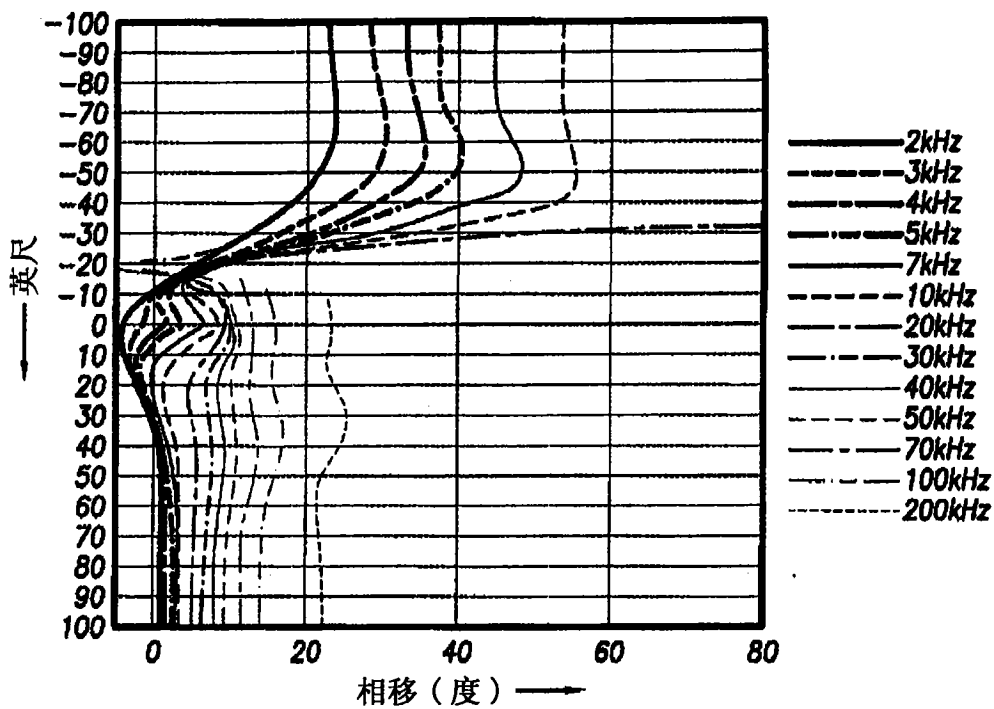


图 11E

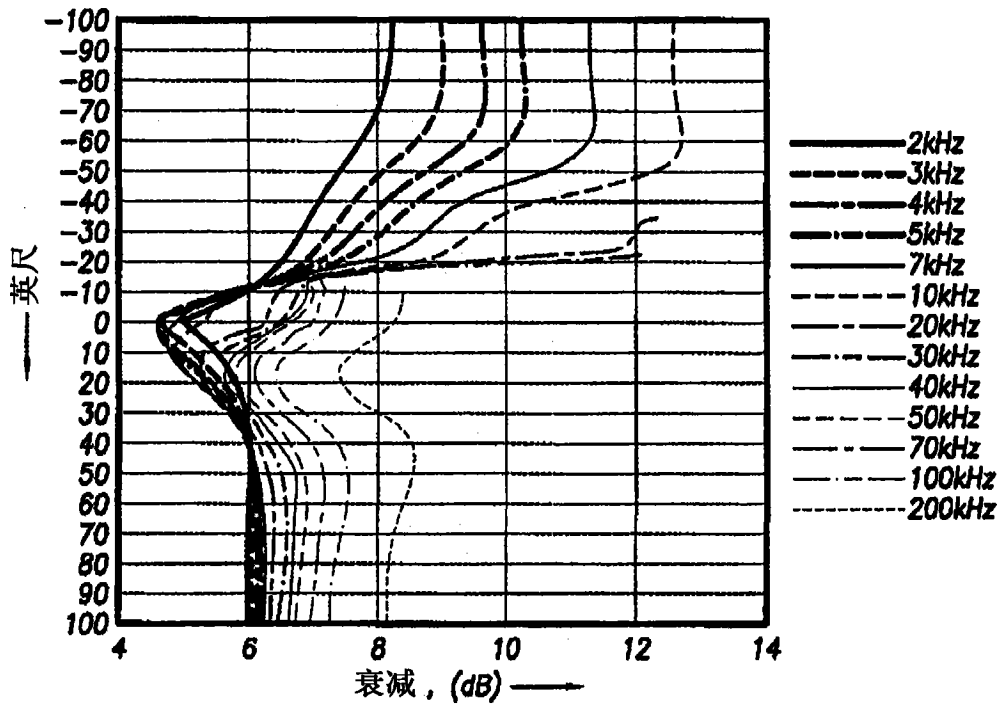


图 11F

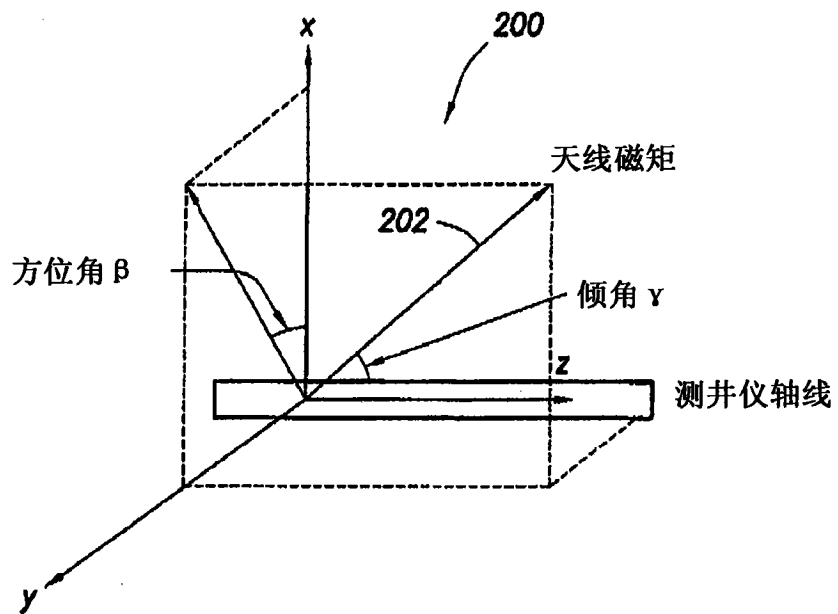


图 12



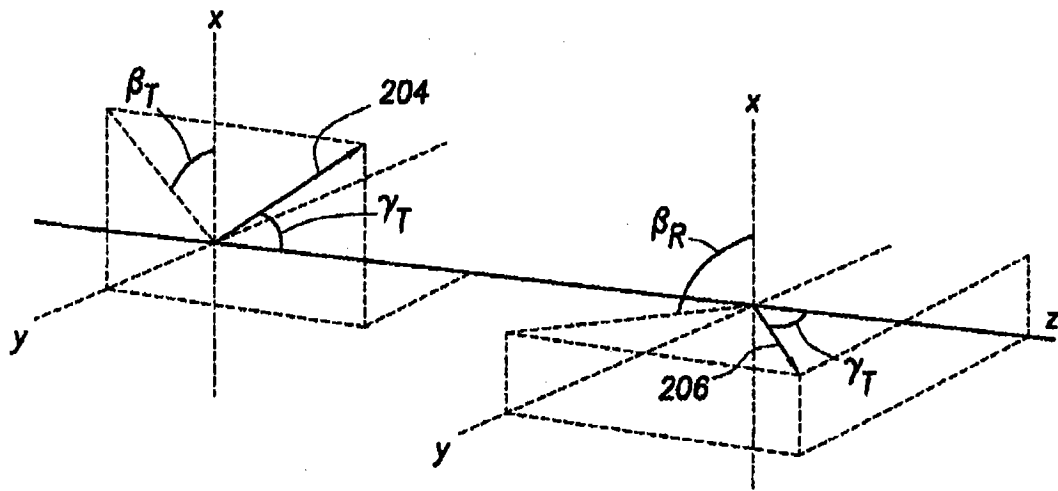


图 13

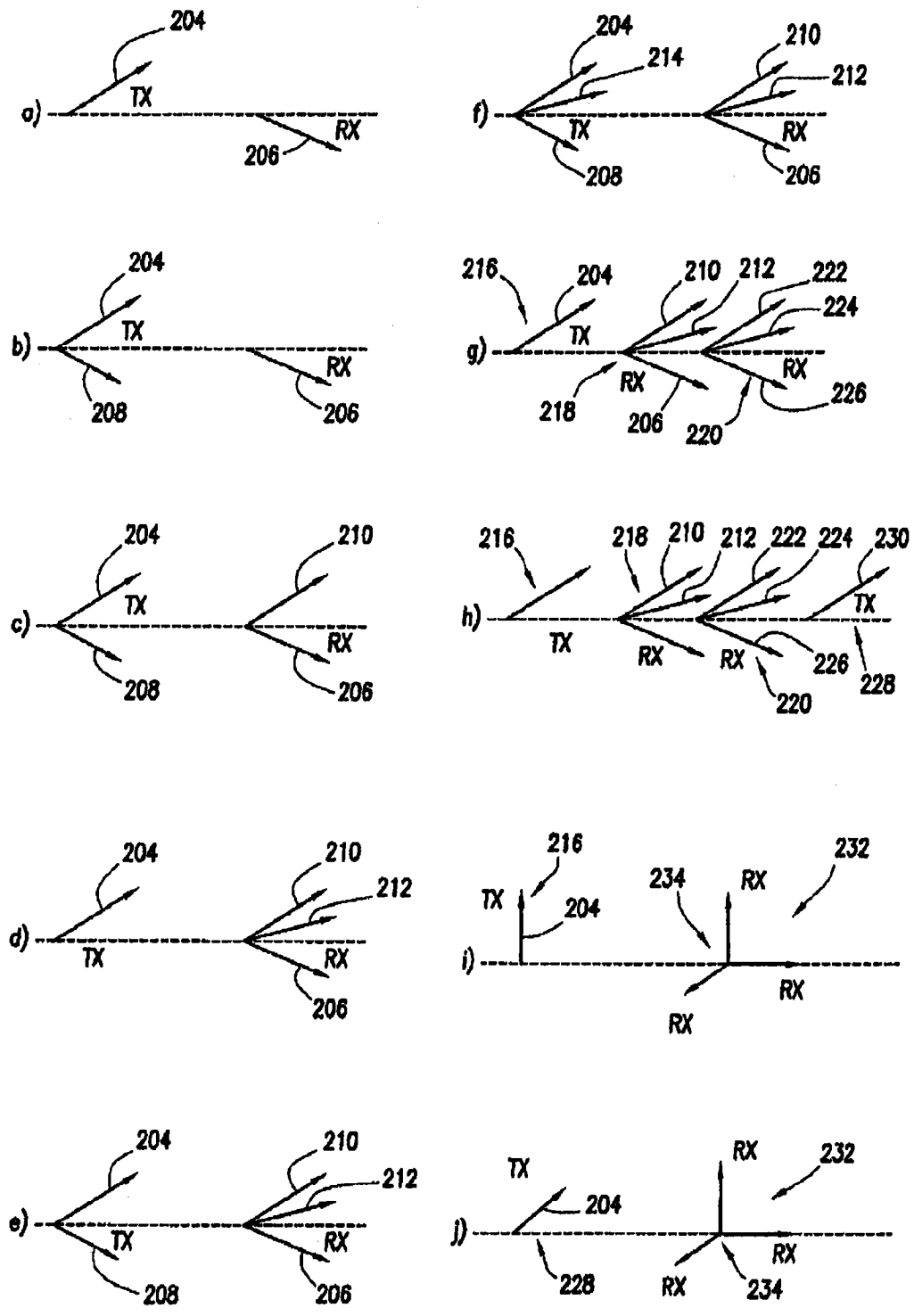


图 14

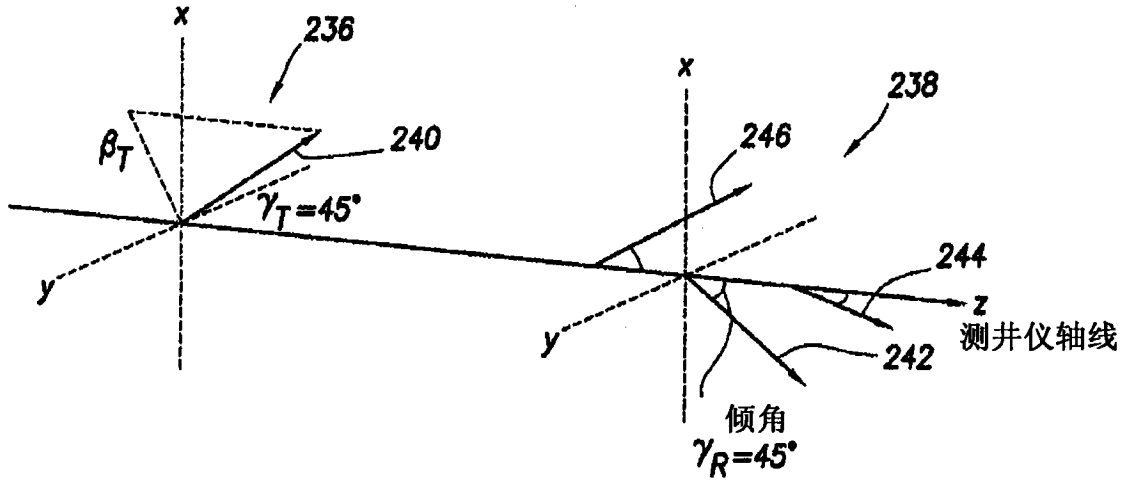


图 15

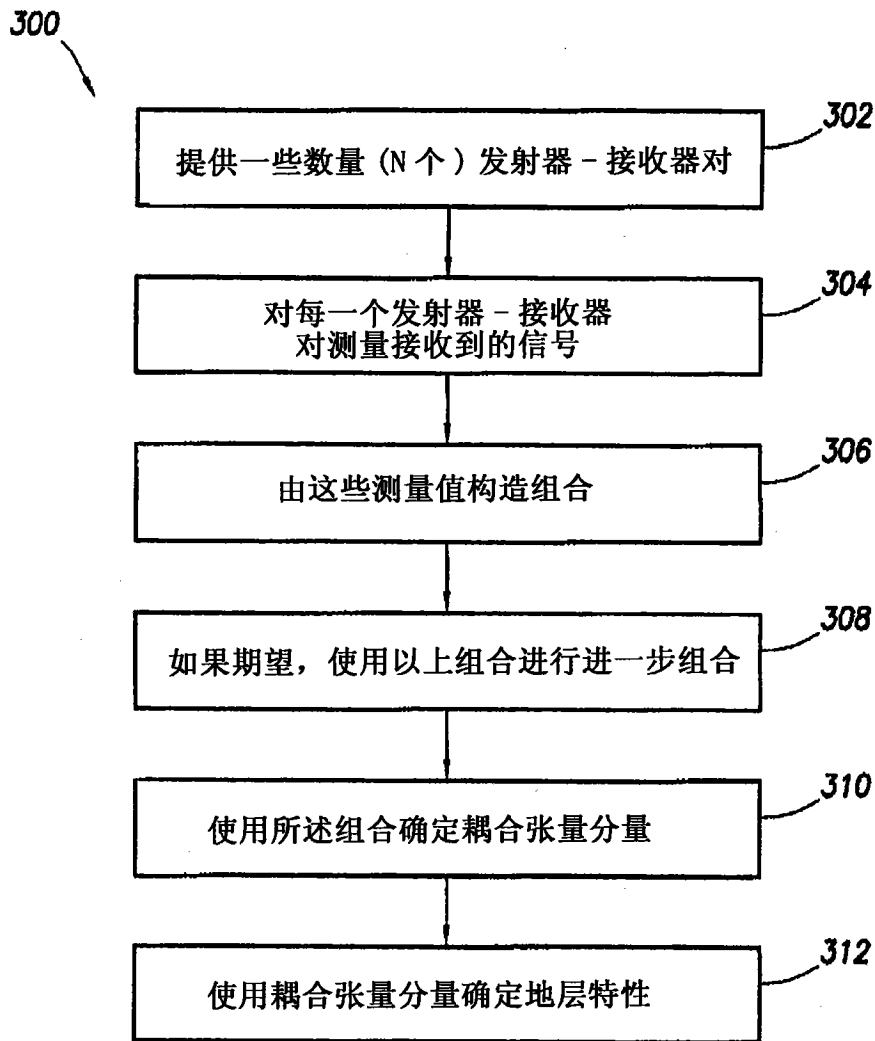


图 16