



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103670389 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 26

(21) 申请号 201310698295. X

(22) 申请日 2013. 12. 18

(71) 申请人 贝兹维仪器(苏州)有限公司

地址 215163 江苏省苏州市苏州高新区科灵
路 78 号软件园 5 号楼 102 室

(72) 发明人 刘策

(74) 专利代理机构 北京三聚阳光知识产权代理
有限公司 11250

代理人 张杰

(51) Int. Cl.

E21B 49/00(2006. 01)

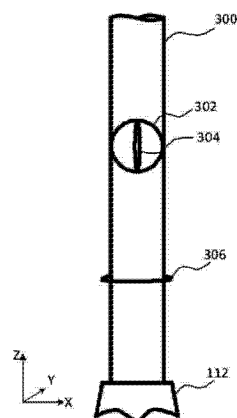
权利要求书3页 说明书11页 附图11页

(54) 发明名称

一种地层界面探测的电扫描方法和装置

(57) 摘要

现有的井下地层界面探测工具需要绕轴线转动工具壳体以测量和记录井眼周围的地层信号,通过对测到的地层信号的计算处理得出地层界面的方位和距离。但有时需要在工具壳体静止的情况下探测地层界面信息。本发明提出了一种地层界面探测的电扫描方法和装置实现了在静止工具壳体上探测出地层边界的方位和距离的目的。



1. 一种地层界面探测的电扫描方法,其特征在于,包括:

在井眼中部署一个柱状的工具壳体;在工具壳体上部署有第一发射机、第二发射机和接收机;第一发射机和第二发射机所发射的电磁波具有不同的极化方向;

调制第一发射机和第二发射机发射的电磁信号的磁矩;使得第一发射机与第二发射机同时发射信号时,电磁信号的总磁矩矢量能绕着工具壳体轴线作 360 度的电扫描;

利用接收机接收和测量来自第一发射机和第二发射机的调制电磁信号,并基于接收机接收到和测量到的电磁信号的振幅和相位计算地层界面的方向和位置。

2. 根据权利要求 1 所述的一种地层界面探测的电扫描方法,其特征在于,所述第一发射机、第二发射机和接收机在方向上相互垂直。

3. 根据权利要求 2 所述的一种地层界面探测的电扫描方法,其特征在于,所述接收机的方向平行于所述工具壳体的纵向轴线。

4. 根据权利要求 1 所述的一种地层界面探测的电扫描方法,其特征在于,所述由第一发射机和第二发射机发射的电磁信号的磁矩根据方程
$$\begin{cases} m_1 = m_0 \cos(\Omega t) \\ m_2 = m_0 \cos(\Omega t) \end{cases},$$

进行调制,其中, m_1 和 m_2 分别为作用在第一发射机和第二发射机的磁矩, m_0 为磁矩的量级, Ω 为调制电磁信号的磁矩的电扫描的角频率, t 为电扫描开始后的持续时间。

5. 根据权利要求 4 所述的一种地层界面探测的电扫描方法,其特征在于,所述角频率可调整。

6. 根据权利要求 1 所述的一种地层界面探测的电扫描方法,其特征在于,进一步包括:测量在不同电扫描角度下来自第一发射机和第二发射机的调制电磁信号。

7. 根据权利要求 1 所述的一种地层界面探测的电扫描方法,其特征在于,进一步包括:建立换算表,通过该换算表方便根据接收机收到和测量得到的电磁信号振幅和相位来计算地层界面的位置和方向。

8. 根据权利要求 1 所述的一种地层界面探测的电扫描方法,其特征在于,进一步包括:检索与工具壳体耦合的测井工具的地层电阻率信号。

9. 根据权利要求 8 所述的一种地层界面探测的电扫描方法,其特征在于,进一步包括:建立换算表,通过该换算表方便根据接收机收到和测量得到的电磁信号振幅和相位来计算地层界面的位置和方向以及从测井工具中检索到的地层电阻率来计算地层界面的位置和方向。

10. 一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,包括:

柱状的工具壳体;

第一发射机,部署在所述工具壳体,沿着第一方向;

第二发射机,部署在所述工具壳体,沿着第二方向;

其中,所述第一发射机和所述第二发射机发射电磁信号,其磁矩具有可调制性,使得电磁信号总磁矩的矢量在所述第一发射机和所述第二发射机同时发射时能绕着工具壳体轴线作 360 度的电扫描;第一发射机和第二发射机所发射的电磁波具有不同的极化方向;

接收机,部署在所述工具壳体,平行于所述工具壳体的纵向轴线;

其中,所述接收机接收和测量所述第一发射机和所述第二发射机发出的调制电磁信

号,得出所述调制电磁信号的振幅和相位,并根据所述电磁信号的振幅和相位计算地层界面方向和位置。

11. 根据权利要求 10 所述的一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,工具壳体是一个钻杆或钻柱。

12. 根据权利要求 10 所述的一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,所述第一发射机与所述第二发射机并置排列或在所述第二发射机轴向距离处。

13. 根据权利要求 10 所述的一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,所述第一发射机、第二发射机和接收机都至少有一天线。

14. 根据权利要求 10 所述的一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,所述第一发射机的第一方向垂直于所述第二发射机的第二方向。

15. 根据权利要求 10 所述的一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,所述接收机的方向垂直于所述第一发射机的第一方向和所述第二发射机的第二方向。

16. 根据权利要求 10 所述的一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,所述由第一发射机和第二发射机发射的电磁信号的磁矩根据方程
$$\begin{cases} m_1 = m_0 \cos(\Omega t) \\ m_2 = m_0 \cos(\Omega t) \end{cases},$$

进行调制,其中, m_1 和 m_2 分别为作用在第一发射机和第二发射机的磁矩, m_0 为磁矩的量级, Ω 为调制电磁信号的磁矩的电扫描的角频率, t 为电扫描开始后的持续时间。

17. 根据权利要求 10 所述的一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,所述第一发射机和所述第二发射机包括:发射机电路,用于调制待发出的电磁信号。

18. 根据权利要求 10 所述的一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,所述接收机包括:接收机电路,用于处理接收到的电磁信号和分析所述电磁信号的振幅和相位。

19. 根据权利要求 18 所述的一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,所述接收机电路与一个处理器耦合,所述处理器用于协助计算地层界面的位置和方向。

20. 根据权利要求 19 所述的一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,所述处理器与一个储存设备耦合,所述储存设备用于储存换算表,以使所述接收机根据所述换算表、测量得出的所述振幅和相位计算地层界面方向和位置。

21. 一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,包括:

柱状的工具壳体;

第一发射机,部署在所述工具壳体;

第二发射机,部署在所述工具壳体,并垂直于所述第一发射机;

所述第一发射机和所述第二发射机发射电磁信号,其磁矩具有可调制性,使得第一发射机和所述第二发射机同时发射电磁信号时,电磁信号总磁矩的矢量能绕着工具壳体轴线作 360 度的电扫描,第一发射机和第二发射机所发射的电磁波具有不同的极化方向;

接收机,部署在所述工具壳体,并平行于所述工具壳体的纵向轴线;

其中,所述接收机接收和测量所述第一发射机和所述第二发射机发出的调制电磁信号,得出所述调制电磁信号的振幅和相位,并根据所述电磁信号的振幅和相位计算地层界面方向和位置。

22. 根据权利要求 21 所述的一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,所述装置

还包括测井工具,用于测量地层电阻率。

23. 根据权利要求 22 所述的一种地层界面探测的电扫描装置,其特征在于,所述接收机还包括一个换算表,用于将所述接收机测量得到的所述电磁信号的振幅和相位,以及所述测井工具测得的地层电阻率转换为地层界面的位置和方向。

一种地层界面探测的电扫描方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及油井中的电测油井法。具体地说涉及一种地层界面探测的电扫描方法和装置。

背景技术

[0002] 采集井下信息通常使用电气测量方法,如随钻测井(“LWD”)、随钻测量(“MWD”)和电缆测井系统。在石油业众所周知,这些技术早已用来获取井下信息,例如,采用地层电阻率(或电导率;术语“电阻率”和“电导率”,虽在意思上相反,但在工艺中可交替使用)和介电常数等确定地层的岩石物理性质以及所含的液体。收集到的井下信息可以帮助描述多孔地层里烃(如原油或天然气)以及反映其它情况,用以识别不同地层之间的地层界面。因此,最好保持钻头在产油层(含烃层)里钻进,以尽可能实现最大限度的采收率。

[0003] 随钻测井、随钻测量和电缆测井系统中可以采用各种测量工具。其中,一种工具为电阻率测量工具。如图 1 所示的相关技术中的电阻率测量工具示意图,它包括钻柱 100、一对发射机 T1 和 T2,用于向周围地层发射电磁信号;一对接收机 R1 和 R2,用于接收来自发射机 T1 和 T2 的电磁信号和在钻柱 100 远端近钻头的信号。相对于发射机 T2,T1 更接近接收机 R1 和 R2。

[0004] 在图 1 中,钻柱 100 旋转并在第一地层 102 间移动,移向第一地层 102 和第二地层 104 之间的地层界面 106。当钻柱 100 接近地层界面 106 时,来自发射机 T2 的电磁信号 108 开始穿透地层界面 106,通过第二地层 104,然后由接收机 R1 和 R2 接收。然而,与此同时,来自发射机 T1 的电磁信号 110 只能通过第一地层 102,然后由远处的接收机 R1 和 R2 接收。因此,发射机 T1 测得的电阻率数据不同于发射机 T2 测量的电阻率数据,该测量的电阻率的差异即可表明存在地层界面 106。

[0005] 为将电阻率测量工具固定在产油层里,电阻率测量工具的操作不仅需要地层边界的位置信息,还需要其方向信息。图 1 所示的电阻率测量工具,无法确定地层界面 106 相对于钻柱 100 的方向。因此,“定向”电阻率测量工具应运而生。定向电阻率测量工具可以在旋转的同时,在不同的方位角收集信息。如图 2 所示的被分为多个面元(或区域)的井眼示意图,其中,将一个井眼分为多个面元(或领域)200~230。传统上,面元的数量为 16 或 32。地层边界的位置和方向可以根据每个面元测量得出电阻率之间的关系结果来计算得出。然而,该定向电阻率测量工具在进行机械旋转时也会有一些缺点。例如,定向电阻率测量工具的振动会明显影响测量数据的精度。此外,机械旋转速度受物理环境限制。

[0006] 针对上述问题,相关技术中已采取了一些避免振动的措施,比如将定向电阻率测量工具逐一固定在每个面元,进行该面元的测量。该方法虽然可以解决上述振动问题,但却会明显延长数据测量的处理过程。

[0007] 如上所述,上述定向电阻率测量工具存在以下不足:机械旋转引起的振动或摇晃,降低了数据测量的精确度,固定位置的测量方式又降低了测量的效率;可见目前的定向电阻率测量工具无法满足实际工作的需求。

[0008] 针对在上述定向电阻率测量工具无法满足实际工作需要的问题,目前尚未提出有效的解决方案。

发明内容

[0009] 为此,本发明所要解决的技术问题在于定向电阻率测量工具无法满足实际需要的问题。从而提出一种地层界面探测的电扫描方法和装置。

[0010] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案为:

[0011] 一种地层界面探测的电扫描方法,包括:

[0012] 在井眼中部署一个柱状的工具壳体;在工具壳体上部署有第一发射机、第二发射机和接收机;第一发射机和第二发射机所发射的电磁波具有不同的极化方向;

[0013] 调制第一发射机和第二发射机发射的电磁信号的磁矩;使得第一发射机与第二发射机同时发射信号时,电磁信号的总磁矩矢量能绕着工具壳体轴线作 360 度的电扫描;

[0014] 利用接收机接收和测量来自第一发射机和第二发射机的调制电磁信号,并基于接收机接收到和测量到的电磁信号的振幅和相位计算地层界面的方向和位置。

[0015] 所述第一发射机、第二发射机和接收机在方向上相互垂直。

[0016] 所述接收机的方向平行于所述工具壳体的纵向轴线。

[0017] 所述由第一发射机和第二发射机发射的电磁信号的磁矩根据方程

$$\begin{cases} m1 = m0 \cos(\Omega t) \\ m2 = m0 \cos(\Omega t) \end{cases},$$

[0018] 进行调制,其中, $m1$ 和 $m2$ 分别为作用在第一发射机和第二发射机的磁矩, $m0$ 为磁矩的量级, Ω 为调制电磁信号的磁矩的电扫描的角频率, t 为电扫描开始后的持续时间。

[0019] 所述角频率可调整。

[0020] 进一步包括:测量在不同电扫描角度下来自第一发射机和第二发射机的调制电磁信号。

[0021] 进一步包括:建立换算表,通过该换算表方便根据接收机收到和测量得到的电磁信号振幅和相位来计算地层界面的位置和方向。

[0022] 进一步包括:检索与工具壳体耦合的测井工具的地层电阻率信号。

[0023] 一步包括:建立换算表,通过该换算表方便根据接收机收到和测量得到的电磁信号振幅和相位来计算地层界面的位置和方向以及从测井工具中检索到的地层电阻率来计算地层界面的位置和方向。

[0024] 一种地层界面探测的电扫描装置,包括:

[0025] 柱状的工具壳体;

[0026] 第一发射机,部署在所述工具壳体,沿着第一方向;

[0027] 第二发射机,部署在所述工具壳体,沿着第二方向;

[0028] 其中,所述第一发射机和所述第二发射机发射电磁信号,其磁矩具有可调制性,使得电磁信号总磁矩的矢量在所述第一发射机和所述第二发射机同时发射时能绕着工具壳体轴线作 360 度的电扫描;第一发射机和第二发射机所发射的电磁波具有不同的极化方向;

[0029] 接收机,部署在所述工具壳体,平行于所述工具壳体的纵向轴线;

[0030] 其中,所述接收机接收和测量所述第一发射机和所述第二发射机发出的调制电磁信号,得出所述调制电磁信号的振幅和相位,并根据所述电磁信号的振幅和相位计算地层界面方向和位置。

[0031] 工具壳体是一个钻杆或钻柱。

[0032] 所述第一发射机与所述第二发射机并置排列或在所述第二发射机轴向距离处。

[0033] 所述第一发射机、第二发射机和接收机都至少有一天线。

[0034] 所述第一发射机的第一方向垂直于所述第二发射机的第二方向。

[0035] 所述接收机的方向垂直于所述第一发射机的第一方向和所述第二发射机的第二方向。

[0036] 所述由第一发射机和第二发射机发射的电磁信号的磁矩根据方程

$$\begin{cases} m1 = m0 \cos(\Omega t) \\ m2 = m0 \cos(\Omega t) \end{cases},$$

[0037] 进行调制,其中, $m1$ 和 $m2$ 分别为作用在第一发射机和第二发射机的磁矩, $m0$ 为磁矩的量级, Ω 为调制电磁信号的磁矩的电扫描的角频率, t 为电扫描开始后的持续时间。

[0038] 所述第一发射机和所述第二发射机包括:发射机电路,用于调制待发出的电磁信号。

[0039] 所述接收机包括:接收机电路,用于处理接收到的电磁信号和分析所述电磁信号的振幅和相位。

[0040] 所述接收机电路与一个处理器耦合,所述处理器用于协助计算地层界面的位置和方向。

[0041] 所述处理器与一个储存设备耦合,所述储存设备用于储存换算表,以使所述接收机根据所述换算表、测量得出的所述振幅和相位计算地层界面方向和位置。

[0042] 一种地层界面探测的电扫描装置,包括:

[0043] 柱状的工具壳体;

[0044] 第一发射机,部署在所述工具壳体;

[0045] 第二发射机,部署在所述工具壳体,并垂直于所述第一发射机;

[0046] 所述第一发射机和所述第二发射机发射电磁信号,其磁矩具有可调制性,使得第一发射机和所述第二发射机同时发射电磁信号时,电磁信号总磁矩的矢量能绕着工具壳体轴线作 360 度的电扫描,第一发射机和第二发射机所发射的电磁波具有不同的极化方向;

[0047] 接收机,部署在所述工具壳体,并平行于所述工具壳体的纵向轴线;

[0048] 其中,所述接收机接收和测量所述第一发射机和所述第二发射机发出的调制电磁信号,得出所述调制电磁信号的振幅和相位,并根据所述电磁信号的振幅和相位计算地层界面方向和位置。

[0049] 所述装置还包括测井工具,用于测量地层电阻率。

[0050] 所述接收机还包括一个换算表,用于将所述接收机测量得到的所述电磁信号的振幅和相位,以及所述测井工具测得的地层电阻率转换为地层界面的位置和方向。

[0051] 本发明的上述技术方案相比现有技术具有以下优点:

[0052] 根据本发明实施例,通过部署有第一发射机、第二发射机和接收机的工具壳体检测地层界面的方向和位置,避免了机械旋转引起的振动或摇晃,提升了数据测量的精确度,并保证了测量的效率,因此解决了定向电阻率测量工具无法满足实际需求的问题,提升了设备的实用性。

附图说明

[0053] 构成本申请的一部分的附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0054] 图 1 是根据相关技术的常用电阻率的测量工具的示意图;

[0055] 图 2 是根据相关技术的分为多个面元(或扇形区)用于测井的井眼示意图;

[0056] 图 3A 是根据本发明实施例的采用定向电阻率测量工具的正面视图;

[0057] 图 3B 是根据本发明实施例的为 x-y 平面上一对 x- 发射机和一对 y- 发射机的总磁矩 $\vec{M}$ 的示意图;

[0058] 图 3C 是根据本发明实施例的图 3A 中的定向电阻率测量工具的示意图(部分用方框图表示);

[0059] 图 4A 是根据本发明实施例的应用电扫描技术实现定向测量的示意图;

[0060] 图 4B 是根据本发明实施例的边界条件下,图 4A 的三维图的透视图;

[0061] 图 4C 是根据本发明实施例的其它边界条件下,图 4A 的三维图的透视图;

[0062] 图 5A 是根据本发明实施例的信号振幅对比电扫描角度的数据图的建模结果示意图;

[0063] 图 5B 是根据本发明实施例的单一相位对比电扫描角度的数据图的建模结果示意图;

[0064] 图 6A 是根据本发明实施例的信号振幅对比电扫描角度的数据图的建模结果示意图;

[0065] 图 6B 是根据本发明实施例的单一相位对比电扫描角度的数据图的建模结果示意图;

[0066] 图 7 是根据本发明实施例的相对信号振幅对比边界距离的数据图的建模结果;

[0067] 图 8 是根据本发明实施例的地层界面探测的电扫描方法的流程图。

具体实施方式

[0068] 下文中将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0069] 图 3A 为本发明实施例中定向电阻率测量工具的前视图。定向电阻率测量工具可以包括工具壳体 300,两个带 x 向和 y 向轴的发射机:一个 x- 发射机 304 和 y- 发射机 302,带 Z 向轴的接收机:一个 z- 接收机 306,和在远端的工具壳体 300 的钻头 112。一个与工具壳体 300 相关的坐标系(x、y、z)。工具壳体 300 的纵向轴线的方向被定义为当前坐标系(x、y、z)的 Z 轴。x- 发射机 304、y- 发射机 302 和 z- 接收机 306 可以包括一个或多个天线,用于发射或接收电磁信号。x- 发射机 304 可以与 y- 发射机 302 并置排列,或位于 y- 发射机 302 的轴向距离处。两个发射机所发射的电磁波具有不同的极化方向。

[0070] 在其中一个实施例中,工具壳体 300 为钻杆或钻柱。

[0071] 在其中一个实施例中,上述发射机方向可变即可调整。

[0072] 在本发明实施例中,不需要以任何方法限制任何发射机和接收机的具体数量、方向或形状。

[0073] 为进行定向测量,工具壳体 300 可不进行机械旋转,而利用电扫描技术保持当前状态,在电的驱动下扫描 x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 的总磁矩的极化,模仿工具壳体 300 的机械旋转效果。电扫描技术可以从 x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 同时发射出来的调制电磁信号开始。电磁信号的总磁矩矢量能绕着工具壳体轴线作 360 度的电扫描。调制电磁信号的磁矩可以通过以下方程(1)表示。

$$[0074] \quad \begin{cases} m1 = m0 \cos(\Omega t) \\ m2 = m0 \sin(\Omega t) \end{cases} \quad (1)$$

[0075] 其中, m_x 和 m_y 分别为作用于 x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 的磁矩; m_0 为磁矩的量级; Ω 为调制电磁信号的磁矩的电扫描的角频率; t 为电扫描开始后的时间。

[0076] 根据方程(1)中的调制,x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 可以用下方方程(2)表示。

$$[0077] \quad \vec{M} = \hat{x}m0\cos(\Omega t) + \hat{y}m0\sin(\Omega t) \quad (2)$$

[0078] 其中 $\hat{x}$ 和 $\hat{y}$ 表示 x- 向和 y- 向的单位矢量。

[0079] 图 3B 为 x-y 平面上基于图 3A 所示图的 x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 的示意图。x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 形成电扫描矢量 308。 ϕ 为逆时针方向时测得的电扫描矢量 308 与正向 x- 轴之间的角度。 ϕ 可以与时间函数 Ωt 相同,从而模仿常规电阻率测量工具的机械旋转过程。因此,整个测量的周期为 $2\pi/\Omega$ 。调制电磁信号磁矩的电扫描的角频率 Ω 可以与常规电阻率测量工具的机械旋转速度振幅相同。此外,调制电磁信号磁矩的电扫描的角频率也可以更快,因为电扫描不受机械旋转的物理限制。根据上述方程(2),逆时针方向时测得的与正向 x- 轴之间的角度的总磁矩 $\vec{M}$ 可用以下方程(3)至方程(11)表示。时间为 $t=0$ 至 $2\pi/\Omega$ 。从正向 x- 轴开始,0 至 $2\pi/\Omega$ 之间的完整旋转周期可以划分为 4 个扇形区:第一扇形区 310、第二扇形区 312、第三扇形区 314 和第四扇形区 316。

$$[0080] \quad \text{在 } t = 0 \text{ 时, } \vec{M} = \hat{x}m0 \quad (3)$$

[0081] x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 沿正向 x- 轴形成电扫描矢量 308。

$$[0082] \quad \text{在 } t = \pi/(4\Omega) \text{ 时, } \vec{M} = (\hat{x} + \hat{y})m0/\sqrt{2} \quad (4)$$

[0083] x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 形成电扫描矢量 308,与正向 x- 轴之间的逆时针角度为 45 度。

$$[0084] \quad \text{在 } t = \pi/(2\Omega) \text{ 时, } \vec{M} = \hat{y}m0 \quad (5)$$

[0085] x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 沿正向 y- 轴形成电扫描矢量 308。

[0086] 在 $t = 3\pi / (4\Omega)$ 时, $\vec{M} = (-\hat{x} + \hat{y})m_0 / \sqrt{2}$ (6)

[0087] x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 形成电扫描矢量 308, 与正向 x-轴之间的逆时针角度为 135 度。

[0088] 在 $t = \pi / (\Omega)$ 时, $\vec{M} = -\hat{y}m_0$ (7)

[0089] x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 沿负 x-轴形成电扫描矢量 308。

[0090] 在 $t = 5\pi / (4\Omega)$ 时, $\vec{M} = \hat{x}m_0 \sin(\Omega t) + \hat{y}m_0 \cos(\Omega t)$ (8)

[0091] x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 形成电扫描矢量 308, 与负 x-轴之间的逆时针角度为 225 度。

[0092] 在 $t = 3\pi / (2\Omega)$ 时, $\vec{M} = -\hat{y}m_0$ (9)

[0093] x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 沿负 y-轴形成电扫描矢量 308。

[0094] 在 $t = 7\pi / (4\Omega)$ 时, $\vec{M} = (\hat{x} - \hat{y})m_0 / \sqrt{2}$ (10)

[0095] x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 形成电扫描矢量 308, 与负 x-轴之间的逆时针角度为 315 度。

[0096] 在 $t = 2\pi / (\Omega)$ 时, $\vec{M} = \hat{x}m_0$ (11)

[0097] x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 电扫描矢量为 308, 背对负 x-轴方向, 与开始旋转时的电扫描矢量 308 相同。因此方程 (3) 等同于方程 (11)。

[0098] 在其中一个实施例中, 使用电扫描技术的同时工具壳体 300 仍能进行机械旋转。

[0099] 图 3C 为图 3A 的定向电阻率测量工具的示意图, 部分为方块图。x-发射机 304 和 y-发射机 302 可包括一个发射机电路 318, 用于调制通过 x-发射机 304 和 y-发射机 302 发射出来的电磁信号。z-接收机 306 可以包括一个接收机电路 320, 用以处理 z-接收机 306 通过天线, 从 x-发射机 304 和 y-发射机 302 处收到的电磁信号和分析这些电磁信号的振幅和相位。

[0100] 在其中一个实施例中, 接收机电路 320 可以与处理器 322 耦合起来, 用于协助处理和分析接收到的电磁信号振幅和相位, 并计算工具壳体 300 附近地层界面的方向和位置。

[0101] 在其中一个实施例中, 发射机电路 318 可与处理器 322 耦合。

[0102] 在其中一个实施例中, 工具壳体 300 可以与一个或多个测井工具耦合 (图 3A 或 3C 中未显示), 用于测量周围地层的电阻率、介电常数以及渗透率。工具壳体 300 附近的地层界面的位置也可通过 z-接收机 306 接收到的电磁信号的振幅和相位关系以及通过测井工具计算得出的周围地层的电阻率、介电常数以及渗透率来计算。相应地, 地层界面 (工具壳体 300 与地层界面直接的距离) 的位置可推导出来, 作为测得的电磁信号的振幅 (信号电压), 以及一个地层界面的两个地层之间的电阻率、介电常数和渗透率的函数, 如下方方程 (12)。

[0103] $d = f(V_{\max}, R_1, R_2, \epsilon_1, \epsilon_2, \mu_1, \mu_2)$ (12)

[0104] 其中, d 为工具壳体 300 与地层界面之间的距离; $V_{\max}$ 为测得电磁信号的最大电压; R_1 和 R_2 分别为地层界面两侧地层的电阻率; ϵ_1 和 ϵ_2 分别为地层界面两侧地层的介

电常数； μ_1 和 μ_2 分别为地层界面两侧地层的渗透率。

[0105] 若某一地层界面附近有三个或三个以上地层，由方程(12)可能要求多个变量，因为整个计算过程会涉及多个电阻率、介电常数和渗透率等信息。

[0106] 但是，如果电磁信号的频率为低频率，则两个地层的电阻率可以主要用于决定工具壳体 300 与地层界面之间的距离。相应地，在低频率下操作时，方程(12)应变为下面的方程(13)。

[0107] $d = f(V_{\max}, R_1, R_2)$ (13)

[0108] 在其中一个实施例中，周围地层的电阻率、介电常数和渗透率的相关信息可通过安置在工具壳体 300 上的其它多层电阻率测量工具获取。

[0109] 在其中一个实施例中，处理器 322 可与储存设备 324 耦合，用以储存一个或多个预制的换算表。换算表可为多维查看表，表中的数据是使用相关电磁正演模拟软件预先计算得出。预制换算表的方式可节省根据测得的电磁信号振幅和相位的原始数据来实际“计算”地层界面的位置和方向的时间，该换算过程可使用插补和 / 或外推算法。

[0110] 预制的换算表可以包括：(1) 第一个表格，用于将测得的电磁信号振幅和相位转换为相应的附近地层界面的方向和位置信息；(2) 第二个表格，用于将测得的电磁信号振幅和地层电阻率、地层介电常数和地层渗透率转换为附近地层界面的位置信息；以及(3) 第三个表格，用于将测得的电磁信号的振幅和地层电阻率信息转换为附近地层界面的位置信息。

[0111] 本发明实施例并不局限于上述换算表的一种形式，根据实际需要，该换算表可以是其它形式，例如，可以上述三个表格中的一个或多个的组合。

[0112] 下面以图 4A 所示的示范性模型 400 为例，说明定向测量可以通过电扫描技术实现。该模型 400 包括第一地层 404、第二地层 406 和位于第一地层 404 和第二地层 406 之间的边界 402。边界 402 的表面可以大体上与 z-y 平面平行。在本发明的其中一个实施例中，z- 向的带纵向轴向的定向电阻率测量工具可放入第二地层 406，进行首次测量。x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 发射出来的电磁信号可以通过方程(1)进行调制。

[0113] 图 4B 和图 4C 为两种边界条件下图 4A 的三维图的透视图。在图 4B 中，x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 的电扫描矢量 308 大体上平行于边界 402 的表面，与负 y- 轴的方向相同。根据电磁理论，x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 可诱使(引起)电流分量 408 在边界 402 上沿着工具壳体 300 的纵向(z- 向)流动。然后，诱发产生沿着工具壳体 300 的纵向(z- 向)流动的电流分量可产生二级磁场 410，其轴线平行于 z- 接收机 306 的轴线。因此，z- 接收机 306 上诱导产生的电磁信号强度将实现最小化。

[0114] 在图 4C 中，x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 的电扫描矢量 308 大体上垂直于边界 402 的表面，并与正 x- 轴的方向相同。根据电磁理论，x- 发射机 304 和 y- 发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 可诱导电流分量 408 在边界 402 上沿垂直于工具壳体 300 的纵向(z- 向)流动。然后，诱发产生沿着垂直于工具壳体 300 的纵向(z- 向)方向流动的电流分量产生二级磁场 410，垂直于 z- 接收机 306 的表面。因此，z- 接收机 306 上诱导产生的电磁信号强度将实现最小化。

[0115] 图 5A 为本发明的其中一个实施例中，基于图 4A 所示的示范性模型 400 的信号振

幅对比电扫描角度的数据图的建模结果。带正弦波绝对值的波形 500 表示当第一地层 404 和第二地层 406 不同时,且二者之间存在有边界 402 时,在整个电扫描的完整周期内(0-360 度),沿着正 x-轴的逆时针方向,在各个不同角度测得的 z-接收机 306 上诱导产生的电磁信号的振幅。几近直线 502 表示当第一地层 404 和第二地层 406 大体上相同时,且二者之间不存在有边界 402 时(均质地形),在整个电扫描的完整周期内(0-360 度),沿着正 x-轴的逆时针方向,在各个不同角度测得的 z-接收机 306 上诱导产生的电磁信号的振幅。因此,存在带正弦波绝对值的波形 500 表示存在边界 402。

[0116] 此外,图 5A 为基于图 3A 所示图的 x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 的电扫描矢量 308 处于 0 度、180 度或者 360 度时的最大信号振幅。根据图 4C 中的边界条件,当 x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 的电扫描矢量 308 大体上垂直于边界 402 边界时,可诱发产生最大电磁信号振幅。图 5A 表示当 x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 的电扫描矢量 308 位于 90 度和 270 度时,可诱发产生最小信号振幅。根据图 4B 中的其它边界条件,当 x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 的电扫描矢量 308 大体上平行于边界 402 边界时,可诱发产生最小电磁信号振幅。

[0117] 根据图 5A 中的数据以及图 4B 和 4C 中的两个边界条件,可以得出以下结论:边界 402 的方向可通过已知的 x-发射机 304 和 y-发射机总磁矩 $\vec{M}$ 电扫描矢量 308 以及该矢量与边界 402 之间的关系信息推导得出。比如,边界 402 表面大体上位于 z-y 平面可以通过当总磁矩 $\vec{M}$ 电扫描矢量 308 平行于边界 402 时,沿正 x-轴逆时针方向,在 90 度或 270 度时 z-接收机 306 上产生的最大电磁信号振幅来判断。当然,这一结果也可通过已知的 x-发射机 304 和 y-发射机总磁矩 $\vec{M}$ 电扫描矢量 308 以及该矢量与边界 402 之间的关系信息推导得出。比如,边界 402 表面大体上位于 z-y 平面可以通过当总磁矩 $\vec{M}$ 电扫描矢量 308 垂直于边界 402 时,沿正 x-轴逆时针方向,在 0 度、180 度或 360 度时 z-接收机 306 上产生的最小电磁信号振幅来判断。如果边界 402 大体上并未在 z-y 平面上,则在整个电扫描(0-360 度)周期期间,在各个不同角度下,沿正 -x 轴的逆时针方向测得的 z-接收机 306 的电磁信号振幅将不同于图 5A 中带正弦波绝对值的波形 500。

[0118] 图 5B 为本发明的其中一个实施例中,基于图 4A 所示的示范性模型 400 的信号相位对比电扫描角度的数据图的建模结果。曲线 504,类似于正弦波,表示当第一地层 404 和第二地层 406 不同时,且二者之间存在有边界 402 时,在整个电扫描的完整周期内(0-360 度),沿着正 x-轴的逆时针方向,在各个不同角度测得的 z-接收机 306 上诱导产生的电磁信号的相位。当 x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 的电扫描矢量 308 落在图 2B 中的区域 310(0 ~ 90 度)和区域 316(270 ~ 360 度)时,信号相位值为正值。当 x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 的电扫描矢量 308 落在图 2B 中的区域 312(90 ~ 180 度)和区域 314(180 ~ 270 度)时,信号相位值为负值。如果边界 402 大体上并未在 z-y 平面上,则在整个电扫描(0-360 度)周期期间,在各个不同角度下,沿正 -x 轴的逆时针方向测得的 z-接收机 306 的电磁信号振幅将不同于图 5B 中曲线 504。

[0119] 总之,边界 402 的方向可通过信号振幅和信号相位与电扫描的角度之比值确定。

[0120] 在其中一个实施例中，x-发射机 304 和 y-发射机 302 发射出来的电磁信号可以通过其它方式调制。调制电磁信号相应的磁矩可用下方的方程 (14) 来表达。

$$[0121] \quad \begin{cases} m_x = m_0 \sin(\Omega t) \\ m_y = m_0 \cos(\Omega t) \end{cases} \quad (14)$$

[0122] 其中， m_x 和 m_y 为作用于 x-发射机 304 和 y-发射机 302 的磁矩； m_0 为磁矩的量级； Ω 为调制电磁信号的磁矩的电扫描的角频率； t 为电扫描开始后的时间。

[0123] 根据方程 (14) 中的调制，x-发射机 304 和 y-发射机 302 的总磁矩 $\vec{M}$ 可以用如下方程 (15) 表示。

$$[0124] \quad \vec{M} = \hat{x}m_0\sin(\Omega t) + \hat{y}m_0\cos(\Omega t) \quad (15)$$

[0125] 其中， $\hat{x}$ 和 $\hat{y}$ 表示 x-向和 y-向的单位矢量。

[0126] 相应地，基于图 4A 所示的示范性模型 400，图 6A 中的信号振幅对比电扫描角度的数据图的建模结果以及图 6B 中的信号相位对比电扫描角度的数据图的建模结果将不同于图 5A 和图 5B 的数据，即在相同模型 400（该模型中 z-y 平面上有相同的边界 402）中对电阻率测量工具的方向进行了测试。

[0127] 在任何时候，本发明都不仅限于任何个别功能或者任何调制电磁信号的方程。

[0128] 图 7 为本发明的其中一个实施例中，基于图 4A 所示的示范性模型 400 的相对信号振幅对比电扫描角度的数据图的建模结果。图 7 为 z-接收机 306 诱导产生，与边界 402 的位置相关电磁信号振幅。工具壳体 300 越靠近边界 402，信号振幅越强。

[0129] 总之，边界 402 的位置可根据 z-接收机 306 上诱导产生的电磁信号振幅与电扫描角度的比值进行判断。

[0130] 在其中一个实施例中，边界 402 的位置也可通过信号振幅和已知地层电阻率、介电常数和渗透率之间的关系进行计算。

[0131] 图 8 为一种地层界面探测的电扫描方法的流程图。开展地层界面探测的电扫描方法包括：

[0132] 步骤 S800，将工具壳体置入井眼中；工具壳体配上一台第一发射机、一台第二发射机和一台接收机，所有机器方向各不相同；第一发射机和第二发射机所发射的电磁波具有不同的极化方向。

[0133] 步骤 S802，调制第一发射机和第二发射机的电磁信号的磁矩。

[0134] 步骤 S804，使得第一发射机和第二发射机同时发射信号时，电磁信号的总磁矩矢量能绕着工具壳体轴线作 360 度的电扫描。

[0135] 步骤 S806，利用接收机接收和测量来自第一发射机和第二发射机的调制电磁信号。

[0136] 其中，第一发射机和第二发射机发出的调制电磁信号的总磁矩在发射过程中会进行电扫描，可使用接收机接收和测量第一发射机和第二发射机发出的调制电磁信号；

[0137] 步骤 S808，根据接收机收到和测得的振幅和相位来计算地层界面的方向和位置。

[0138] 在其中一个实施例中，第一发射机、第二发射机和接收机的方向上相互垂直。

[0139] 在其中一个实施例中，接收机的方向上平行于工具壳体的纵向轴线。

[0140] 在其中一个实施例中，上述地层界面探测的方法还包括：根据方程

$\begin{cases} m1 = m0 \cos(\Omega t) \\ m2 = m0 \sin(\Omega t) \end{cases}$ 来调制第一和第二发射机发出的电磁信号的磁矩 ; 其中, $m1$ 和 $m2$ 分别为

作用于第一发射机和第二发射机的磁矩 ; $m0$ 为磁矩的量级 ; Ω 为调制电磁信号的磁矩的电扫描的角频率 ; t 为电扫描开始后的时间。

[0141] 在其中一个实施例中, 上述角频率可调整。

[0142] 在其中一个实施例中, 上述地层界面探测的方法还可以包括 : 测量在不同电扫描角度(不同的面元或扇形区)下, 来自第一发射机和第二发射机的调制电磁信号。

[0143] 在其中一个实施例中, 上述地层界面探测的方法还可以包括 : 建立换算表, 依据该换算表加速根据接收机收到和测量得到的电磁信号振幅和相位来计算地层界面的位置和方向这一过程。

[0144] 在其中一个实施例中, 进行地层界面探测的方法还包括 : 检索与工具壳体耦合的测井工具的地层电阻率信号。基于此, 在其它实施例中, 进行地层界面探测的方法还可以包括 : 建立换算表 ; 依据该换算表, 并根据接收机收到和测量得到的电磁信号振幅和相位以及从测井工具中检索到的地层电阻率来计算地层界面的位置和方向这一过程。

[0145] 在其中一个实施例中, 发射过程中, 调制电磁信号总磁矩的矢量能绕着工具壳体轴线作 360 度的电扫描。在其它实施例中, 进行地层界面探测的方法还包括 : 测量不同电扫描角度下, 来自第一发射机和第二发射机的调制电磁信号。

[0146] 在任何时候, 都不得将本发明限制在任何特殊步骤顺序内或者要求图 8 中的任何特殊步骤。

[0147] 上述方法的实现地层界面探测的电扫描方法装置可以采用以下结构之一 :

[0148] 柱状的工具壳体, 安置在工具壳体的第一发射机(沿第一方向)、安置在工具壳体的第二发射机(沿第二方向)以及安置在该工具壳体的接收机(方向与工具壳体的纵向轴线大致平行)。该第一发射机的第一方向与第二发射机的第二方向不同, 例如 : 二者为垂直关系。第一发射机和第二发射机所发射的电磁波具有不同的极化方向。

[0149] 柱状的工具壳体, 安置在工具壳体的第一发射机、安置在工具壳体的第二发射机(大致上垂直于第一发射机)以及安置在工具壳体的接收机(方向与工具壳体的纵向轴线大致平行)。

[0150] 上述工具壳体可以为钻柱或钻杆。

[0151] 其中, 上述第一发射机和第二发射机可发射电磁信号, 其磁矩可进行调制, 使得电磁信号总磁矩的矢量都会在电的驱动下旋转, 使得第一发射机和第二发射机同时发射信号时, 电磁信号的总磁矩矢量能绕着工具壳体轴线作 360 度的电扫描。

[0152] 其中, 上述接收机接收和测量第一发射机和第二发射机发出的调制电磁信号, 并根据测得的电磁信号的振幅和相位计算地层界面的方向和位置。

[0153] 上述第一发射机可以与第二发射机并置排列, 或位于第二发射机轴向距离处。

[0154] 上述第一发射机、第二发射机和接收机可以包括至少一条天线。

[0155] 在其中一个实施例中, 接收机的方向与第一发射机的第一方向和第二发射机的第二方向垂直。

[0156] 上述第一和第二发射机可以包括一个发射机电路, 用于调制待发出的电磁信号。

[0157] 上述接收机可以包括一个接收机电路, 通过部署后可处理接收到的电磁信号并分

析其振幅和相位。

[0158] 上述接收机可以与一个处理器耦合在一起,用于协助计算地层界面的方向和位置。该处理器可以与一个储存设备耦合在一起,用于储存换算表,加速根据接收机收到和测量得到的电磁信号振幅和相位计算地层界面的位置和方向的过程。

[0159] 在上述装置还包括测井工具,用于测量地层电阻率。

[0160] 上述接收机可以包括:一个转换表,用于转换接收机测得的电磁信号振幅信息,以及测井工具在地层界面的方向和位置上测得的地层电阻率。

[0161] 本发明已通过具体实施例予以说明,包括细节,方便了解本发明的施工和操作原理。这样针对具体实施例的参考文本和详细信息并不限制所附要求的范围。当然,仅能聘请本领域内的技术人员在本实施例中进行其他各种修改,用以说明,同时不得背离要求中定义的本发明的精神和范围。

[0162] 显然,本领域的技术人员应该明白,上述的本发明的各模块或各步骤可以用通用的计算装置来实现,它们可以集中在单个的计算装置上,或者分布在多个计算装置所组成的网络上,可选地,它们可以用计算装置可执行的程序代码来实现,从而,可以将它们存储在存储装置中由计算装置来执行,并且在其中一个情况下,可以以不同于此处的顺序执行所示出或描述的步骤,或者将它们分别制作成各个集成电路模块,或者将它们中的多个模块或步骤制作成单个集成电路模块来实现。这样,本发明不限制于任何特定的硬件和软件结合。

[0163] 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,而并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

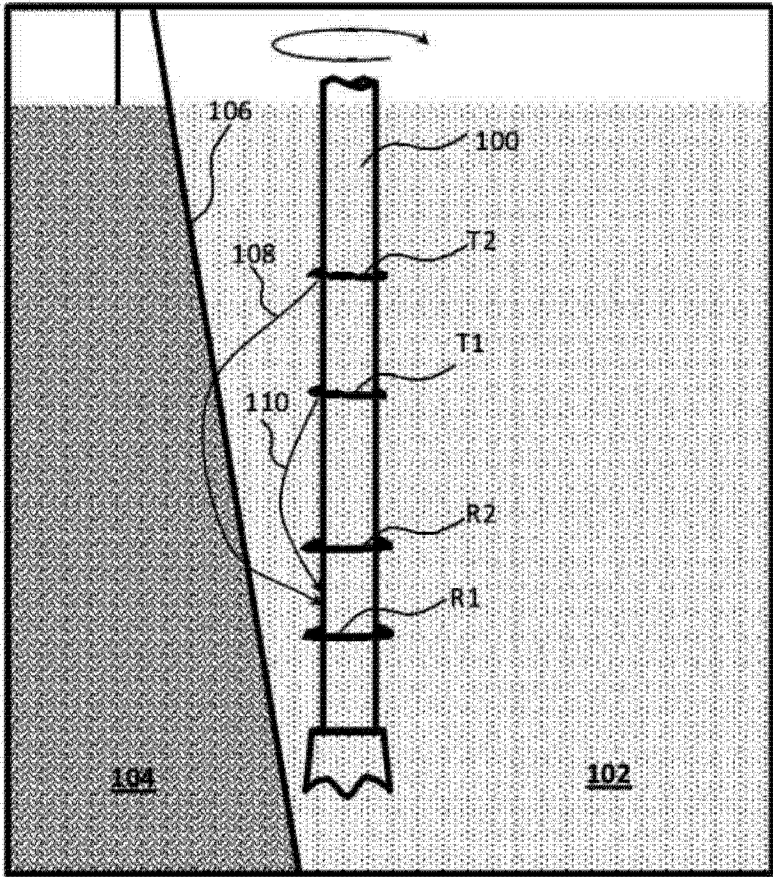


图 1

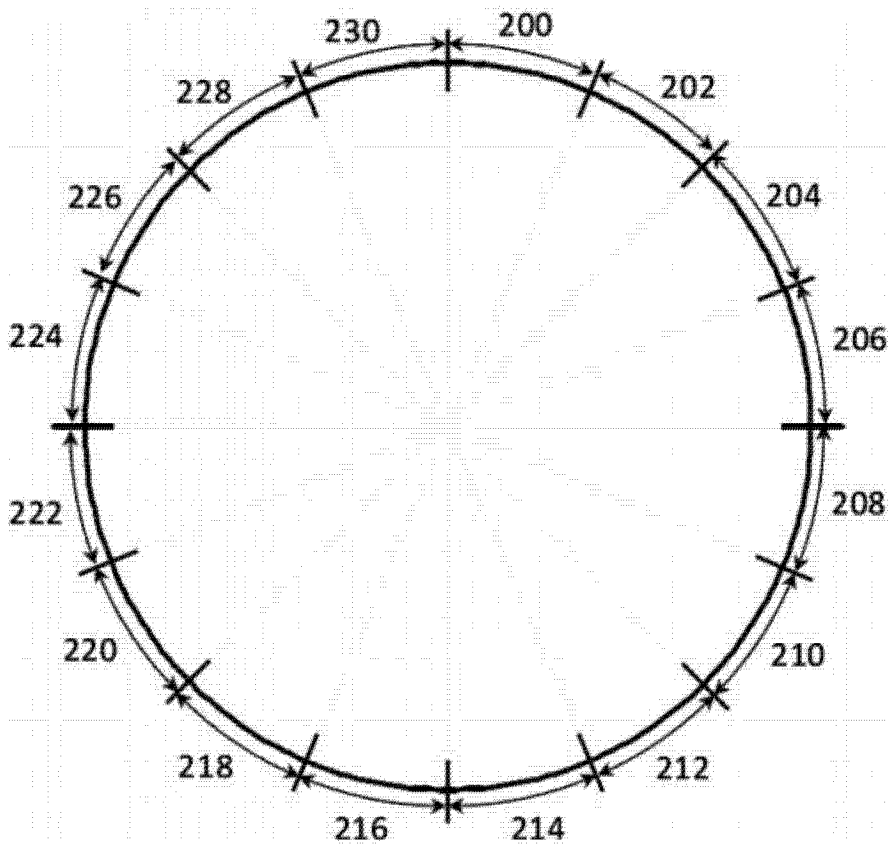


图 2

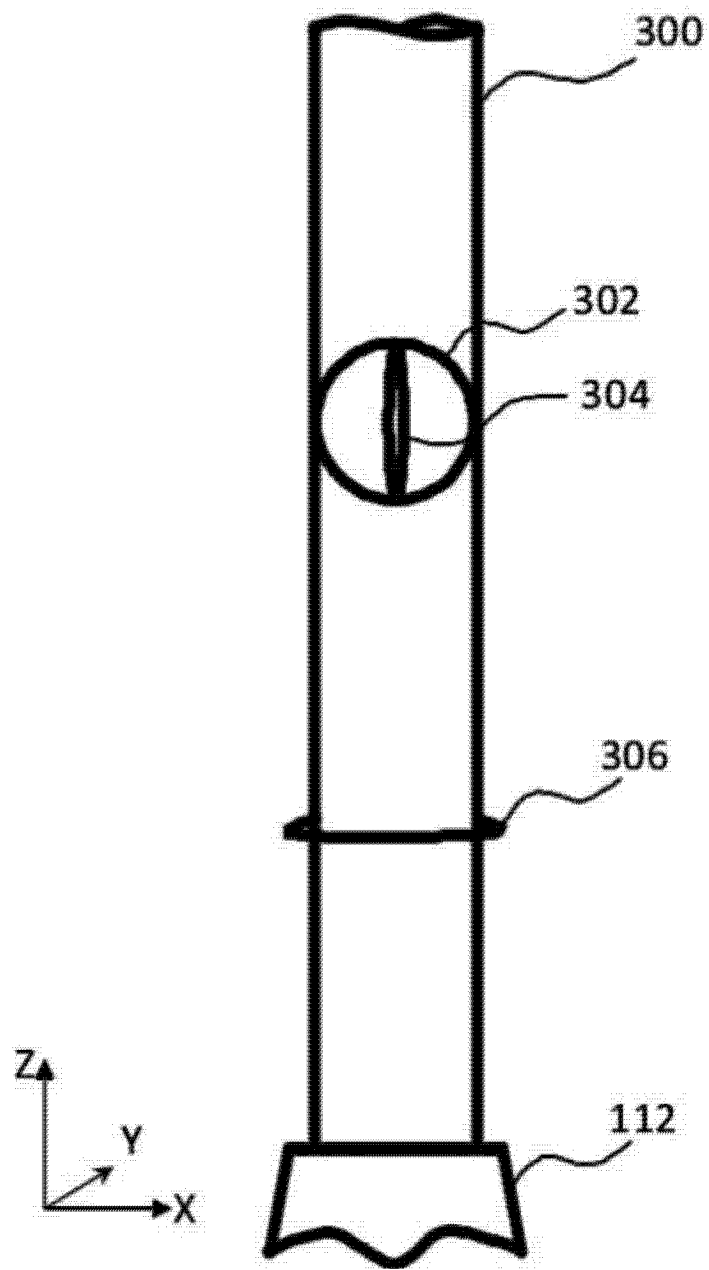


图 3A

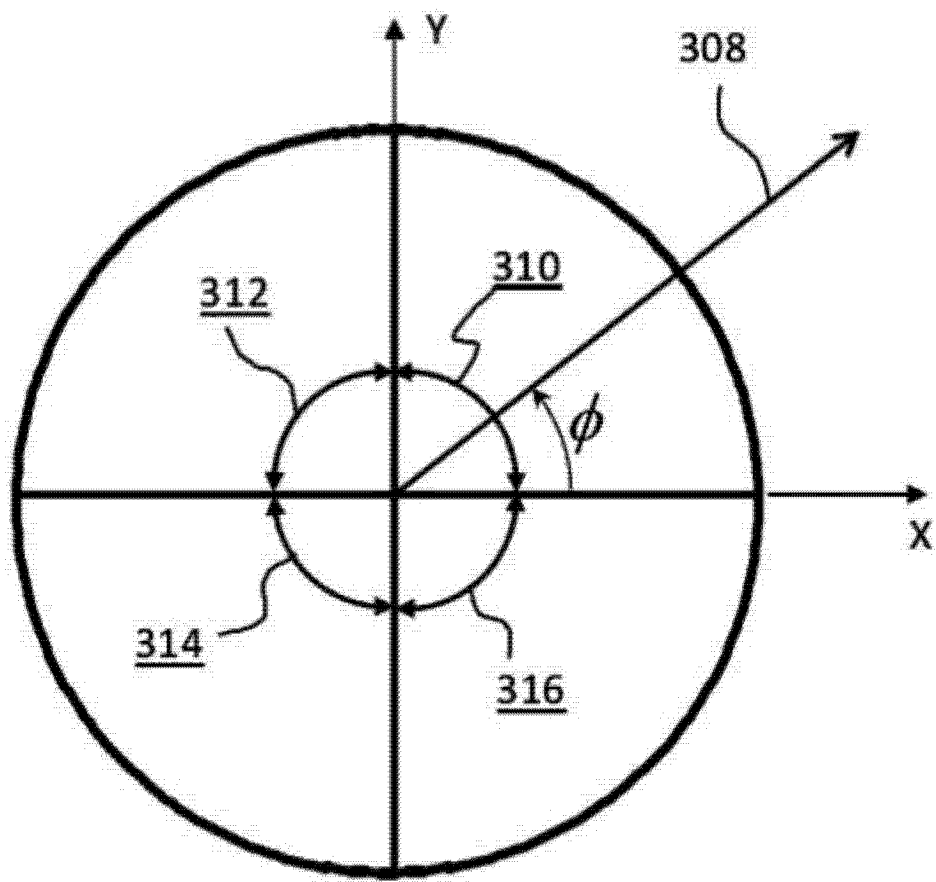


图 3B

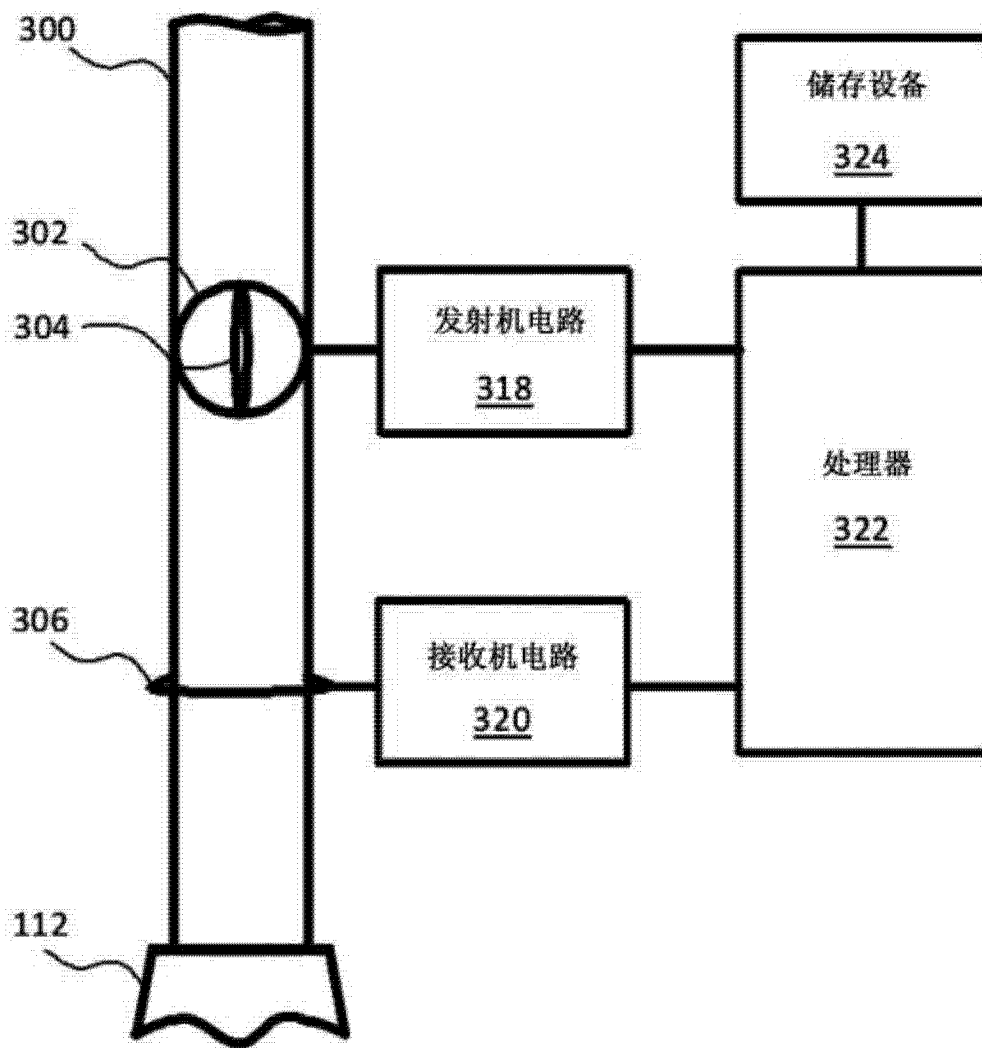


图 3C

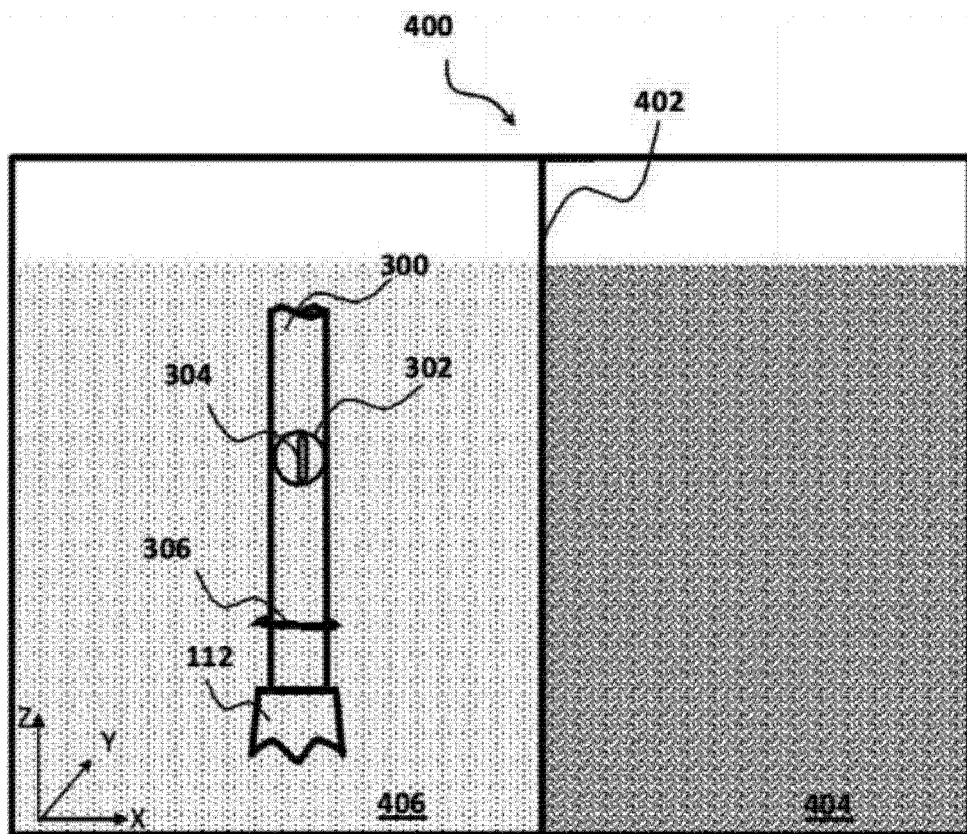


图 4A

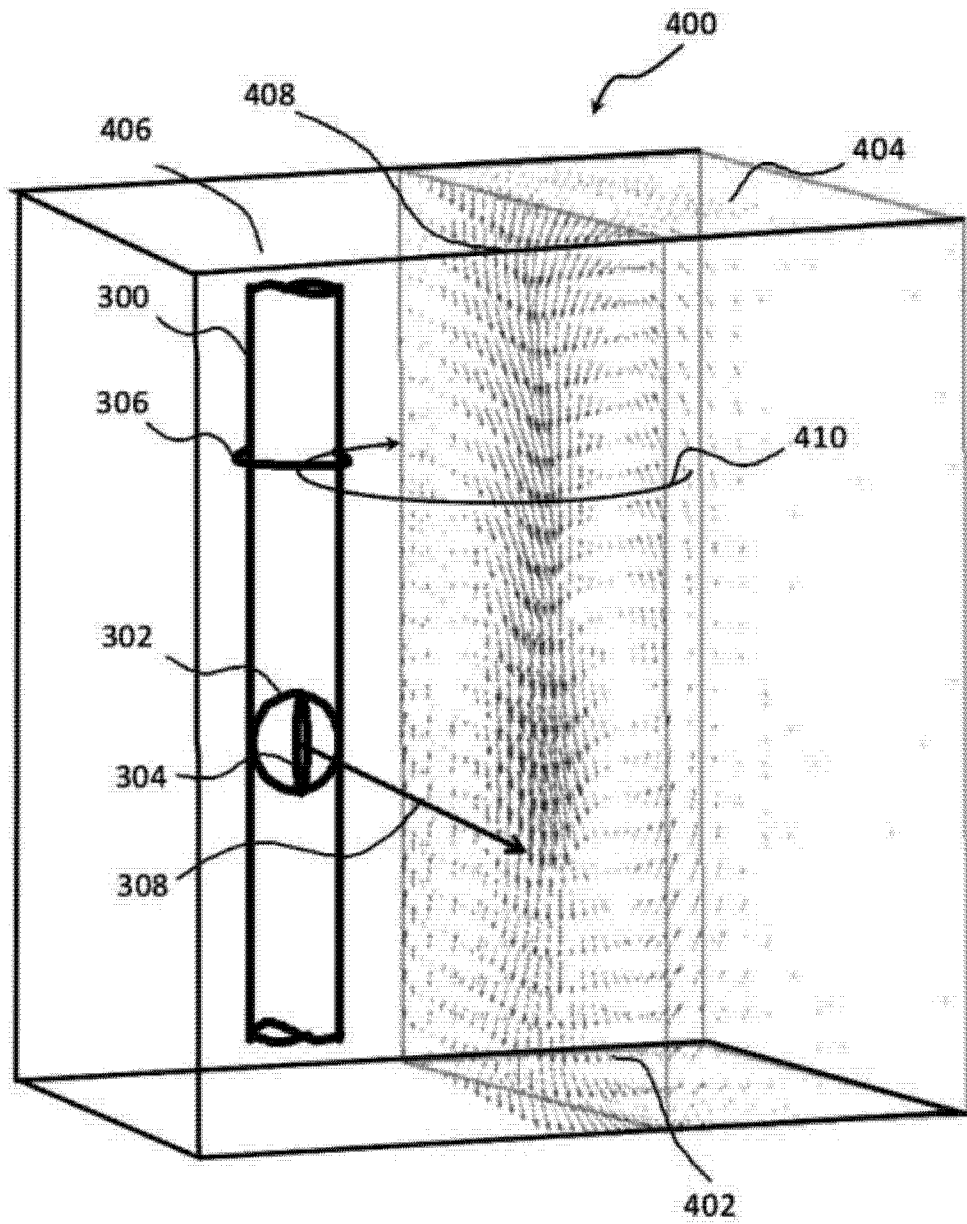


图 4B

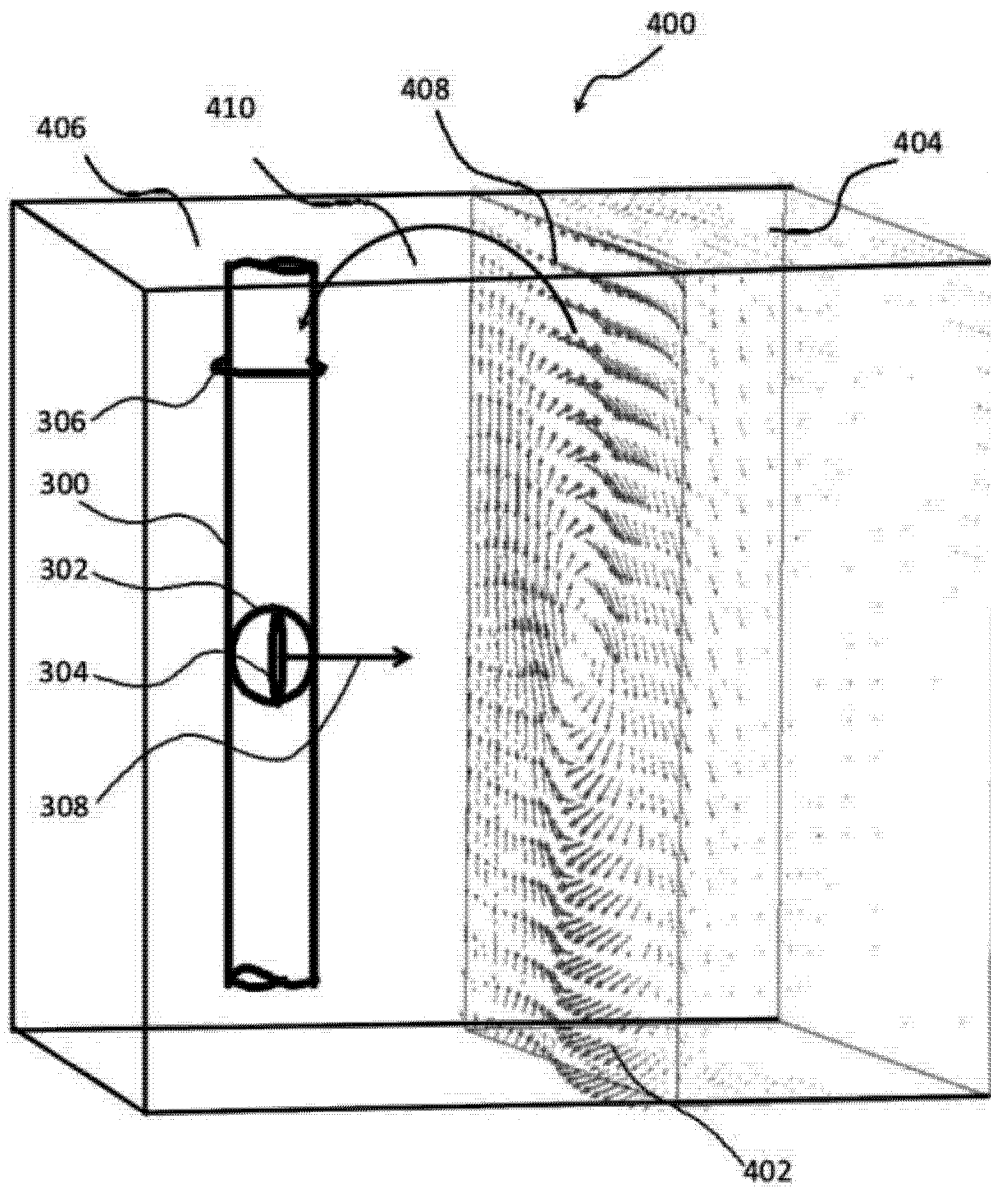


图 4C

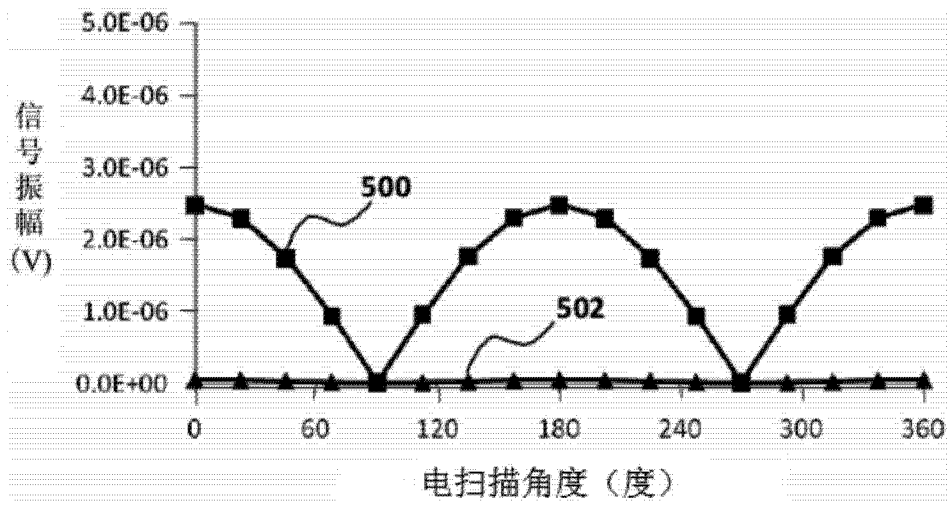


图 5A

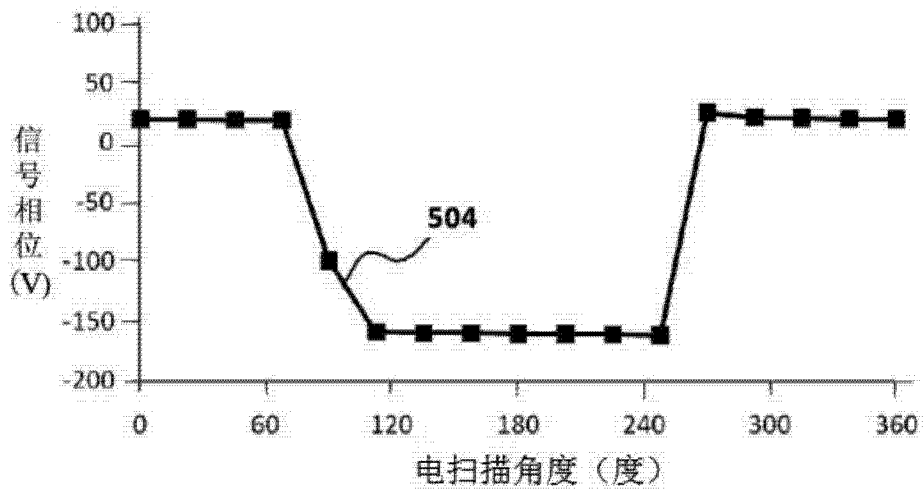


图 5B

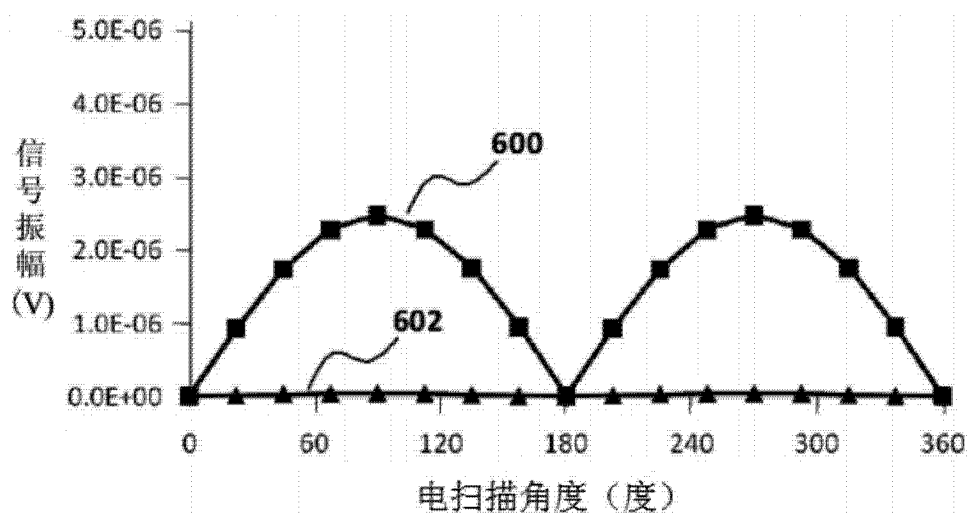


图 6A

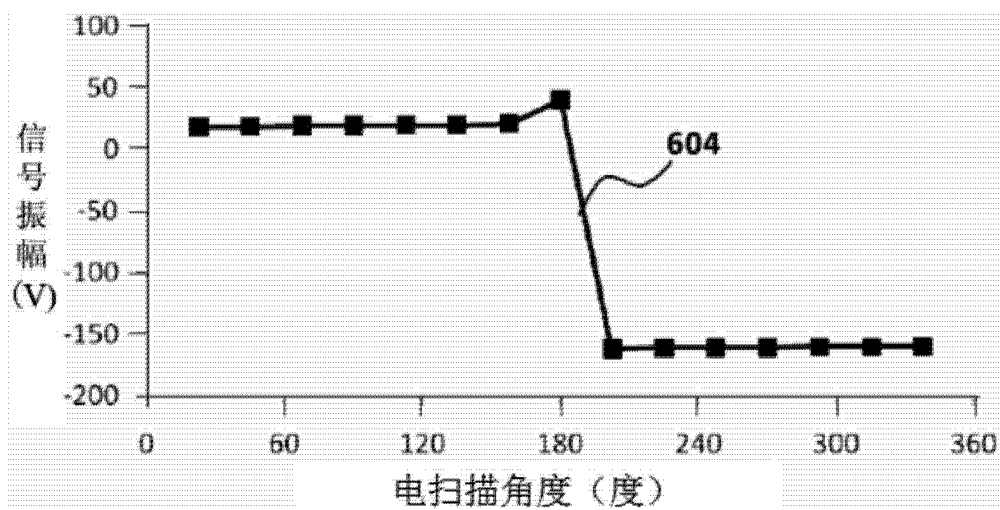


图 6B

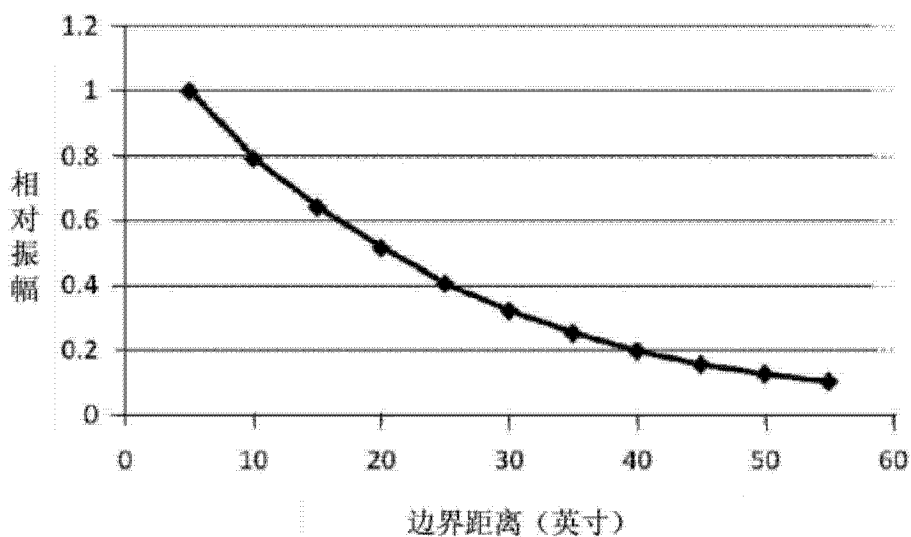


图 7

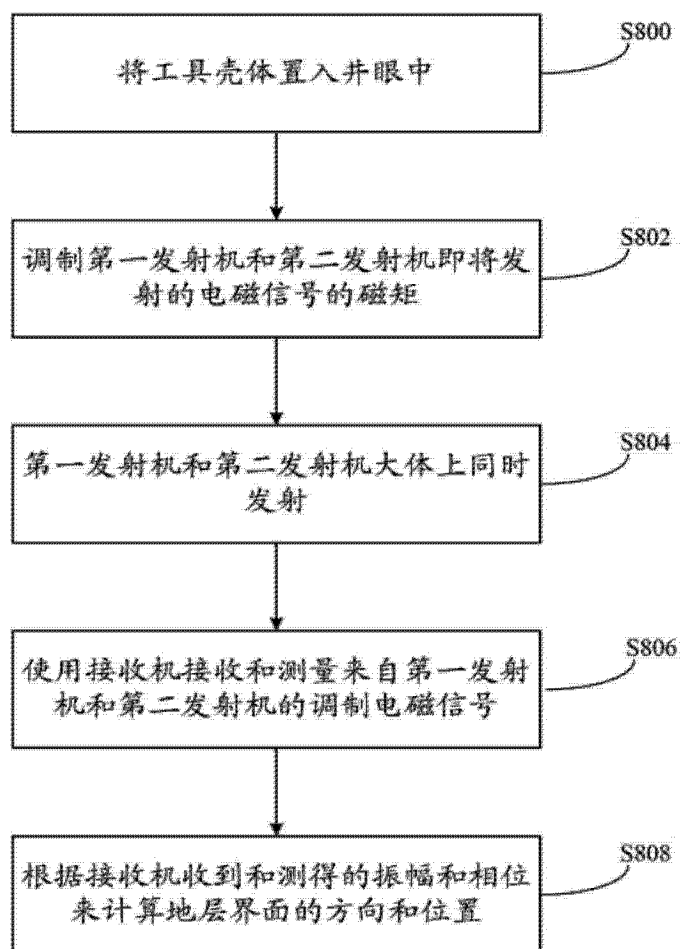


图 8