



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110785539 B

(45) 授权公告日 2023.07.14

(21) 申请号 201780091186.8

(22) 申请日 2017.06.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110785539 A

(43) 申请公布日 2020.02.11

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.11.25

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2017/039700 2017.06.28

(87) PCT国际申请的公布数据
W02019/005032 EN 2019.01.03

(73) 专利权人 哈利伯顿能源服务公司
地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 A·里德曼

(74) 专利代理机构 隆天知识产权代理有限公司
72003

专利代理师 金鹏

(51) Int.Cl.
E21B 47/00 (2012.01)
G01V 3/32 (2006.01)
G01R 33/44 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 105940185 A, 2016.09.14
CN 1249436 A, 2000.04.05
CN 1497267 A, 2004.05.19
JP 2008258881 A, 2008.10.23
US 2002153136 A1, 2002.10.24
US 2005030021 A1, 2005.02.10
US 2012126809 A1, 2012.05.24

审查员 周琳淞

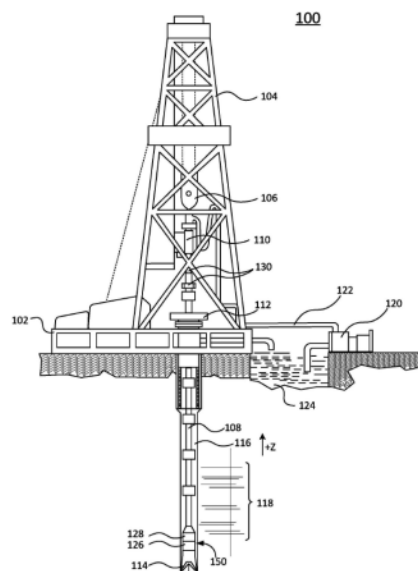
权利要求书3页 说明书11页 附图9页

(54) 发明名称

基于成本和结构约束而构造核磁共振(NMR)装置

(57) 摘要

在一些方面,基于满足结构约束的材料的横截面区域的成本和最小厚度而选择用于构造钻铤的材料。所述钻铤的内部体积基于其最小厚度而容纳一个或多个井下核磁共振(NMR)部件。耦合到增强器磁性元件的中心磁体设置在所述内部体积中。第一端磁体和第二端磁体在接近所述增强器磁性元件的相应轴向侧处定位在所述内部体积中,并且天线组件在磁性组件的所述相应轴向侧之间并围绕所述中心磁体的至少一部分接近于所述内部体积定位。



1. 一种方法,包括:

基于满足结构约束的材料的横截面区域的成本和最小厚度而选择所述材料来构造钻铤;

至少部分地基于所述材料的所述横截面区域的所述最小厚度而确定所述钻铤的内部体积以容纳一个或多个钻井部件;

将中心磁体和增强器磁性元件设置在所述内部体积中,所述中心磁体包围增强器磁性元件的至少一部分,所述增强器磁性元件从所述中心磁体的第一端向外延伸以形成第一轴向侧并且从所述中心磁体的第二端向外延伸以形成与所述第一轴向侧相对的第二轴向侧;

在所述第一轴向侧与所述第二轴向侧之间并围绕所述中心磁体的至少一部分接近于所述内部体积定位天线组件;

在接近所述增强器磁性元件的所述第一轴向侧处将第一端磁体定位在所述内部体积中;以及

在接近所述增强器磁性元件的所述第二轴向侧处将第二端磁体定位在所述内部体积中。

2. 如权利要求1所述的方法,还包括:

确定设置在所述中心磁体与所述天线组件之间的所述材料的横截面区域的最小厚度。

3. 如权利要求1所述的方法,还包括:

基于设置在所述中心磁体与所述天线组件之间的所述材料的所述横截面区域的所述最小厚度而确定所述中心磁体的一部分的外径。

4. 如权利要求1所述的方法,还包括:

基于设置在所述第一端磁体与所述中心磁体之间的所述材料的所述横截面区域的所述最小厚度而确定所述第一端磁体的第一外径;

基于设置在所述第二端磁体与所述中心磁体之间的所述材料的所述横截面区域的所述最小厚度而确定所述第二端磁体的第二外径;以及

基于设置在所述中心磁体与所述天线组件之间的所述材料的所述横截面区域的所述最小厚度而确定所述中心磁体的第三外径。

5. 如权利要求4所述的方法,其中所述第三外径小于所述第一外径并且小于所述第二外径。

6. 如权利要求1所述的方法,其中所述第一端磁体具有第一直径,所述第二端磁体具有第二直径,并且所述中心磁体具有第三直径,并且其中所述第三直径小于所述第一直径并且小于所述第二直径。

7. 如权利要求1所述的方法,其中所述中心磁体使部分地由所述第一端磁体、所述第二端磁体和所述增强器磁性元件产生的静磁场成形,所述方法还包括:

基于轴向均匀性约束或径向梯度约束中的至少一者而确定所述中心磁体的尺寸以使所述静磁场成形。

8. 如权利要求1所述的方法,其中所述天线组件包括至少一个线圈。

9. 如权利要求8所述的方法,其中所述至少一个线圈形成横向偶极天线,所述方法还包括:

使用所述天线组件的所述至少一个线圈形成横向偶极天线;

将天线罩联接到所述横向偶极天线;以及
将所述天线罩联接到所述钻铤的内壁。

10. 如权利要求1所述的方法,其中所述天线组件包括至少两个横向偶极天线,所述方法还包括:

将第一横向偶极天线定向成正交于第二横向偶极天线。

11. 如权利要求1所述的方法,其中所述天线组件还包括天线和软磁芯,所述软磁芯包围所述中心磁体的至少一部分。

12. 如权利要求1所述的方法,还包括:

基于所述材料的所述横截面区域的所述最小厚度的剪切应力公差而确定所述结构约束。

13. 如权利要求1所述的方法,其中所述天线组件包括至少两个互相正交的横向偶极天线。

14. 一种能够在井环境中操作的系统,包括:

钻铤,所述钻铤具有内部体积,所述内部体积围绕钻井轴线限定管道并且容纳一个或多个钻井部件,所述内部体积由与满足结构约束的横截面区域的最小厚度相关联的材料成本决定;

耦合到增强器磁性元件的中心磁体,所述中心磁体设置在所述内部体积中,所述中心磁体包围增强器磁性元件的至少一部分,所述增强器磁性元件从所述中心磁体的第一端向外延伸以形成第一轴向侧并且从所述中心磁体的第二端向外延伸以形成与所述第一轴向侧相对的第二轴向侧;

天线组件,所述天线组件在所述第一轴向侧与所述第二轴向侧之间并围绕所述中心磁体的至少一部分接近所述内部体积定位;

第一端磁体,所述第一端磁体在接近所述第一轴向侧处定位在所述内部体积中;以及
第二端磁体,所述第二端磁体在接近所述第二轴向侧处定位在所述内部体积中。

15. 如权利要求14所述的系统,其中所述第一端磁体具有第一外径,所述第二端磁体具有第二外径,并且所述中心磁体具有第三外径,其中所述第三外径小于所述第一外径并且小于所述第二外径。

16. 如权利要求14所述的系统,其中所述天线组件包括横向偶极天线,以在正交于静磁场的方向上产生射频磁场,所述静磁场部分地由所述第一端磁体和所述第二端磁体感生。

17. 如权利要求16所述的系统,其中所述钻铤的一部分限定凹部,其中所述天线组件包括至少一个线圈和天线罩,并且其中所述天线组件设置在所述凹部中。

18. 一种核磁共振传感器,包括:

耦合到增强器磁性元件的中心磁体,所述中心磁体由钻铤的内部体积容纳,所述内部体积由与满足结构约束的横截面区域的最小厚度相关联的材料成本决定,所述中心磁体包围增强器磁性元件的至少一部分,所述增强器磁性元件从所述中心磁体的第一端向外延伸以形成第一轴向侧并且从所述中心磁体的第二端向外延伸以形成与所述第一轴向侧相对的第二轴向侧;

天线组件,所述天线组件在所述第一轴向侧与所述第二轴向侧之间并围绕所述中心磁体的至少一部分接近于所述内部体积定位;

第一端磁体,所述第一端磁体在接近所述第一轴向侧处定位在所述内部体积中;以及
第二端磁体,所述第二端磁体在接近所述第二轴向侧处定位在所述内部体积中。

19.如权利要求18所述的核磁共振传感器,其中所述钻铤的一部分限定凹部,并且其中
所述天线组件设置在所述凹部中。

20.如权利要求18所述的核磁共振传感器,其中所述第一端磁体和所述第二端磁体是
永磁体,并且其中所述天线组件包括软磁芯。

基于成本和结构约束而构造核磁共振 (NMR) 装置

技术领域

[0001] 本技术总体涉及在地层中的钻探,并且更具体地涉及被采用来检测邻近井筒的地层内的性质的核磁共振(NMR)工具。

背景技术

[0002] 在测井(例如,电缆测井、随钻测井(LWD)和随钻测量(MWD))领域中,通常采用核磁共振(NMR)工具或传感器来基于与地下物质的磁相互作用而探索地下地层。例如,NMR工具可以确定地下物质的性质,尤其包括孔隙空间的体积分数、填充孔隙空间的可动流体的体积分数和其他岩石物理参数。NMR工具通常包括敏感部件,诸如在邻近的地下物质中产生静磁场的磁体,以及在邻近的地下物质中感生射频(RF)磁场的线圈或天线。一般而言,所感生的RF磁场正交于静磁场,以便为邻近的地下物质中的NMR激发/检测创造适当的条件。在各种测井应用中,敏感的NMR部件容纳在钻铤内,以提供对抗井筒钻探环境中的各种钻井力(例如,应力、应变、扭力、冲击力等)的保护。尽管增大这些敏感部件的尺寸可以提高NMR灵敏度和准确度,但是它们的总尺寸往往受到与用于构造钻铤的材料相关联的结构和成本约束的限制。

附图说明

[0003] 通过参考以下结合附图进行的描述可以更好地理解本文的实施方案,在附图中,相似的附图标记表示类似的、相同的或功能相似的元件。应理解,这些附图仅示出本公开的示例性实施方案且因此不应被视为限制本公开的范围,将通过使用附图以附加具体特征和细节来描述并解释本文的原理,在附图中:

[0004] 图1是在钻井环境中包括NMR工具的示例井系统的示意图;

[0005] 图2是用于从井筒环境获得NMR数据的示例井下工具的框图;

[0006] 图3是设置在钻铤的内部体积中的NMR传感器的透视等距视图;

[0007] 图4是图3所示的沿着切割线4-4观察到的NMR传感器的横截面图;

[0008] 图5是设置在钻铤的内部体积中的另一个NMR传感器的透视等距视图;

[0009] 图6是图5所示的沿着切割线6-6观察到的NMR传感器的横截面图;

[0010] 图7是NMR传感器的横截面图,示出了具有软磁芯的磁性组件;

[0011] 图8是NMR传感器的横截面图,示出了具有互相正交的横向偶极天线的天线组件;
并且

[0012] 图9是根据本公开的实施方案的用于构造NMR传感器的示例性简化程序。

[0013] 如所示,各图中的相同的参考符号表示相同或基本上等同的元件。

具体实施方式

[0014] 以下详细论述了本公开的各种实施方案。虽然论述了具体实施方式,但是应理解,这样做仅仅是为了说明性的目的。相关领域的技术人员将认识到,可在不脱离本公开的精

神和范围的情况下使用其他部件和配置。本公开的其他特征和优点将在以下描述中进行阐述,并且部分将根据所述描述而变得显而易见,或可以通过实践本文公开的原理来领会。可以借助于所附权利要求中具体指出的仪器和组合来实现和获得本公开的特征和优点。本公开的这些以及其他特征将从以下描述和所附权利要求中变得更完全地显而易见,或可以通过实践本文阐述的原理来领会。

[0015] 如上所述,钻铤容纳并保护敏感的测井工具免受井筒环境中的各种力的影响。通常,相对于NMR工具,需要较大的部件(例如,磁体材料、线圈等),因为较大的部件可以产生较强的磁场,以较高频率操作,并且提高信噪比、准确度、分辨率等等。然而,部件通常由过于敏感而无法提供机械支撑的材料构成。因此,在由部件占据的体积与钻铤的结构完整性之间存在折衷。此外,钻铤的外径对于给定井筒应用或井筒环境而言通常是固定的。由于外径是固定的并且由于部件不对钻铤提供机械支撑,因此对于给定横截面区域,部件尺寸(长度、宽度和/或高度)的任何增加都会减少用于构造钻铤的对应材料量并且降低钻铤的结构完整性。为了最大化部件的尺寸并另外满足结构约束,在构造钻铤的过程中通常需要昂贵的材料。因此,本文公开的NMR系统和装置包括根据与用于构造钻铤的材料相关联的结构和成本约束来选择、设定尺寸和布置的特定部件。

[0016] 以此方式,本公开的实施方案涉及构造成本有效的NMR井下工具,其针对钻铤的指定内部体积能最大化灵敏度和准确度,并且还考虑到对用于构造钻铤的材料的结构和成本约束。例如,根据本公开的一个实施方案,一种构造NMR井下工具的方法包括:基于满足结构约束的材料的横截面区域的成本和最小直径而选择材料来构造钻铤;以及至少部分地基于材料的横截面区域的最小直径而确定钻铤的内部体积以容纳一个或多个钻井部件。所述方法还包括将中心磁体和增强器磁体设置在内部体积中,其中中心磁体基本上包围增强器磁性元件的至少一部分,并且增强器磁性元件从中心磁体的每一端向外延伸以形成第一轴向侧和与第一轴向侧相对的第二轴向侧。还在第一轴向侧与第二轴向侧之间并围绕中心磁体的至少一部分将天线组件定位在内部体积中。此外,在接近增强器磁性元件的第一轴向侧处将第一端磁体定位在内部体积中,并且在接近增强器磁性元件的第二轴向侧处将第二端磁体定位在内部体积中。

[0017] 图1是可以采用本文公开的各种NMR系统、装置和技术的示例性井系统100的示意图。如图所示,钻井系统100具体示出了MWD或LWD系统的操作。钻井系统100包括钻井平台102,所述钻井平台102具有井架104以及用于升高和降低钻柱108的提升机106。提升机106悬挂顶部驱动器110,所述顶部驱动器110适合于使钻柱108旋转并且使钻柱108降低穿过井口112。值得注意的是,钻柱108可以包括用于检测和记录井筒和周围地层的邻近特性和状况的传感器或其他仪器。

[0018] 在操作中,顶部驱动器110在使钻柱108降低穿过井口112时支撑所述钻柱108并使其旋转。以此方式,钻柱108(和/或井下马达)使联接到钻柱108的下端的钻头114旋转,以在各种地下地层中产生井筒116。泵120使钻井流体如下循环:使所述钻井流体穿过供给管122到达顶部驱动器110,向下穿过钻柱108的内部,穿过钻头114中的孔口,经由钻柱108周围的环空回到表面,并且进入保留坑124中。钻井流体将岩屑从井筒116输送到保留坑124中并且帮助维持井筒完整性。各种材料可以用于钻井流体,包括油基流体和水基流体。

[0019] 钻井系统100还包括在钻头114附近联接到钻柱108的底部钻具组合(BHA) 150。BHA

150包括一个或多个钻铤(例如,厚壁钢管),所述一个或多个钻铤提供重量和刚性以为钻井操作传递旋转力(例如,扭矩);以及各种井下测量工具,诸如但不限于:MWD工具和LWD工具,所述井下测量工具可以被配置成收集、检测和测量井下钻井条件。例如,MWD和LWD工具可以包括测井工具126,所述测井工具126可以包括核磁共振(NMR)测井工具或传感器;以及遥测短节128。值得注意的是,如本领域技术人员将了解,在钻井操作期间,在电缆测井操作期间或在其他环境中可以使用NMR工具。

[0020] 一般而言,MWD和LWD工具包括各种类型的电子传感器、发射器、接收器、硬件、软件和/或用于产生、发送和检测信号(例如,声波等),存储信息(例如,日志数据),与附加设备(例如,地面设备、处理器、存储器、时钟、输入/输出电路等)进行通信等等的其他接口电路。特别地,测井工具126可以测量数据,诸如位置、定向、钻压、应变、移动、钻孔直径、电阻率、钻井工具定向,所述钻井工具定向可以根据工具面角(旋转定向)、倾斜角度(斜率)和罗盘方向来指定,其中每一者都可以从传感器(例如,磁强计、倾斜仪和/或加速度计,但是存在其他传感器类型,诸如陀螺仪等)的测量获得。此外,在钻头114在周围地下地层118中扩展井筒116时,测井工具126可以收集对所述周围地下地层118的NMR测量。

[0021] 测井工具126以及MWD和LWD工具的其他传感器通信地耦合到遥测模块128,所述遥测模块128将来自BHA的测量和信号传送到表面接收器(未示出)和/或从表面接收器接收命令。遥测模块128可以涵盖任何已知的井下通信手段,包括但不限于:泥浆脉冲遥测系统、声学遥测系统、有线通信系统、无线通信系统或其任何组合。在某些实施方案中,在测井工具126处进行的测量中的一些或全部还可以在测井工具126的本地存储(例如,存储在本地存储器中)或存储在遥测模块128处以供稍后在使钻柱108缩回时在地面处检索。在钻井过程期间的各个时间处,钻柱108可以如图2所示从井筒116移除。

[0022] 应了解,图1所示的环境和系统提供用于论述而非限制的目的,并且另外,如本领域技术人员所了解,本文论述的各种NMR工具和NMR技术可以适用于任何数量的钻井环境中。

[0023] 如上所述,测井工具126可以包括核磁共振(NMR)硬件/软件部件。图2是配置有NMR传感器部件的示例井下工具200的框图,所述NMR传感器部件可操作来执行NMR测量并且从井筒环境获得NMR数据。

[0024] 如所示,井下工具200包括硬件和软件部件,诸如通过系统总线250互连的网络接口210、至少一个处理器220、传感器组件260和存储器240。网络接口210包括用于通过通信链路传送数据的机械、电气和信令电路,所述通信链路可以包括无线或有线通信链路(例如,电缆204)。

[0025] 处理器220表示被配置成执行指令或逻辑以在井筒环境中执行任务的数字信号处理器(例如,微处理器、微控制器或固定逻辑处理器等)。处理器220可以包括通用处理器、专用处理器(其中软件指令被并入到处理器中)、状态机、专用集成电路(ASIC)、包括现场可编程门阵列(PGA)的PGA、单个部件、一组分布式处理器等等。处理器220通常结合共享或专用硬件一起操作,包括但不限于能够执行软件和硬件的硬件。例如,处理器220可以包括适于执行软件程序并操纵数据结构245的元件或逻辑,所述数据结构245可以驻留在存储器240中。

[0026] 传感器组件260包括各种测量部件(例如,磁性元件、磁芯等),所述测量部件通常

结合处理器220一起操作以执行诸如NMR测量的井筒测量,并且还可以包括专用处理器、检测器、天线、磁性组件、射频(RF)发射器、接收器等等。以此方式,传感器组件260可以包括用于产生、发送、接收、检测、记录磁场、地震活动和/或声波和/或对它们进行采样的硬件/软件。

[0027] 存储器240包括多个存储位置,所述多个存储位置可由处理器220寻址,以存储与本文描述的实施方案相关联的软件程序和数据结构245。操作系统242(其部分通常驻留在存储器240中并由处理器220执行)在功能上尤其通过调用支持在井下工具200上执行的软件处理和/或服务的操作来组织装置。这些软件处理和/或服务可以包括如本文所述的说明性“NMR”处理/服务244。应注意,虽然处理/服务244在集中式存储器240中示出,但是一些实施方案提供用于在分布式计算网络中操作这些处理/服务。

[0028] NMR处理244通常操作来使用一个或多个磁性体在研究体积中诱导原子核和/或其他粒子,并且在弛豫时段期间,被激发的粒子产生响应信号(例如,回波信号等),所述响应信号由天线组件检测。这些响应信号被进一步处理来确定感兴趣的体积中的物质的各种物理性质(例如,孔隙率、密度、粘度、物质含量等)。

[0029] 对于本领域技术人员而言将显而易见的是,包括各种计算机可读介质的其他处理器和存储器类型可以用于存储和执行与本文描述的钻孔评估技术有关的程序指令。另外,尽管描述说明了各种处理,但是可以明确预期的是,各种处理可以体现为在其上编码有基于曲率的反馈控制处理244的部分的模块。以此方式,程序模块可以编码在一个或多个有形计算机可读存储介质中以诸如利用固定逻辑或可编程逻辑(例如,由处理器执行的软件/计算机指令)执行,并且任何处理器可以是可编程处理器、可编程数字逻辑诸如现场可编程门阵列或包括固定数字逻辑的ASIC。一般而言,任何处理逻辑可以体现于处理器220或编码有供处理器220执行的指令的计算机可读介质中,所述指令由处理器执行时可操作来使处理器执行本文描述的功能。

[0030] 图3是设置在钻铤305的内部体积中的示例性NMR传感器300的透视等距视图,并且图4示出了沿着图3所示的切割线4-4取得的NMR传感器300的横截面图。总的来说,图3和图4示出了根据与用于构造钻铤305的材料相关联的结构和成本约束来选择、设定尺寸和布置的NMR部件。如本领域技术人员所了解,NMR传感器300可以用于井系统100、传送系统200和其他合适的井筒系统或环境中。

[0031] 如图3所示,NMR传感器300设置在钻铤305中。为了清楚起见,示出了钻铤305的剖视图。如上所述,钻铤305提供刚性以在钻井操作期间传递旋转力。此外,钻铤305在其传递使钻头/钻井组件旋转所需的扭矩时随着所述钻铤305围绕轴线300a(例如,钻井轴线)旋转可能会经受各种冲击力。钻铤305通常具有圆柱形形状并且包括内部管道或通道302,以引导钻井流体或泥浆来润滑钻头/组件并将岩屑从钻头/组件运送到表面。

[0032] NMR传感器300是圆柱形结构,其包括第一磁体310、第二磁体315和设置在第一磁体310与第二磁体315之间的中心磁体320。第一磁体310和第二磁体315配合产生具有所需强度的静磁场 B_0 ,并且中心磁体320作用来使由第一磁体310和第二磁体315产生的静磁场成形。值得注意的是,中心磁体320、第一磁体310和/或第二磁体315各自可以包括一个或多个永磁片。

[0033] 如所示,中心磁体320是细长磁片,其具有第一轴向端320a和与第一轴向端320a相

对的第二轴向端320b。第一磁体310和第二磁体315各自在轴向上与第一轴向端320a和第二轴向端320b如图4所示(在403a和403b处测量)分别错开一段短距离。此外,中心磁体320耦合到软磁芯321,所述软磁芯321可以形成围绕中心磁体320的至少一部分延伸的天线组件(以下论述)的一部分。软磁芯321通常选自具有高饱和磁通密度的材料,以在产生所需磁场时减小其横截面积/体积。

[0034] 仍然参考图3,第一磁体310和第二磁体315连同中心磁体320一起限定四个磁极,所述磁极可以被布置来使静磁场成形或/和增强所述静磁场。特别地,在NMR操作期间,第一磁体310、第二磁体315和中心磁体320在研究体积325(例如,井筒环境中的邻近地层的所需体积)中感生静磁场 B_0 并使其成形。值得注意的是,如所指示在平行于轴线300a的方向上感生静磁场 B_0 。

[0035] 研究体积325基本上和/或完全包围NMR传感器300,但是为了清楚起见,示出了研究体积325的剖视图。研究体积325可以轴向地和径向地形成,以提供抗扰性或以其他方式降低其对轴向运动、横向运动的敏感度。另外,研究体积325不限于任何特定形状或尺寸,并且其形状和尺寸可以根据应用或设计的需求而变化。

[0036] NMR传感器300还包括天线组件,所述天线组件包括天线330和软磁芯321,它们通常设置在钻铤305的凹部中。天线罩335保护天线组件并且可以形成钻铤305的面向外侧的表面或外表面。以此方式,天线罩可能会经受如本文所述的井筒环境的各种力。天线组件至少部分地围绕中心磁体320的一部分的圆周延伸。在此处,天线330是横向偶极天线并且耦合到软磁芯321,所述软磁芯321围绕中心磁体320的外径延伸。天线组件可操作地在正交于静磁场 B_0 的方向上产生射频(RF)磁场 B_{RF1} 。例如,天线330可以产生RF序列(例如,一系列脉冲、延迟等)以在研究体积325中激发原子核并且检测响应信号(例如,自旋回波信号或其他NMR信号)。这些响应信号被进一步处理来确定邻近地层的各种物理性质。为了清楚起见,示出了天线罩335和软磁芯321的剖视图,使得可以观察到NMR传感器300的内部部件。另外,尽管天线330被示出为单个天线,但是本文论述的其他实施方案提供了两个或更多个天线(例如,互相正交的横向偶极天线等)。此外,尽管图3所示的许多部件被示出为大体上为圆柱形的结构,但是,如本领域技术人员所了解,这些部件的形状不限于任何特定形状。

[0037] 图4示出了突出在钻铤305的容纳NMR传感器部件的内部体积与其结构材料的横截面区域的对应减小之间的折衷的横截面图。一般而言,钻铤305是由各种材料,诸如钢、铝、合金等等构成的厚壁管状件,而NMR传感器部件由过于敏感且过于柔软而无法提供结构支撑的材料构成。在图4中,NMR传感器部件在钻铤305的内部体积内相对于彼此定位,其中在所述NMR传感器部件之间存在一定距离或偏移(标记为401a、401b、402、403a、403b、404a、404b、405a和405b)。这些距离限定了钻铤材料的横截面区域的边界和尺寸,所述钻铤材料提供支持钻井操作的结构或机械强度。各种钻铤材料进一步与相应的结构或机械强度约束相关联。

[0038] 如所示,距离402表示钻铤305的外壁的最大直径。某些较小的横截面距离,诸如距离404a/404b示出了在中心磁体320的外径与软磁芯321的内径之间的钻铤材料的横截面区域。值得注意的是,距离404a/404b度量设置在中心磁体320与软磁芯321之间的钻铤材料的横向横截面区域的宽度。增加中心磁体320和/或软磁芯321的横截面区域通常会增加相应磁场的强度,但是也会减小设置在其间的钻铤材料的横截面区域(例如,距离404a/404b减

小)。类似地,增加第一磁体310或第二磁体315的尺寸可能会引起横截面距离401a/401b、403a/403b和/或405a/405b的减小,这会减小周围钻铤材料的横截面区域。通常需要更昂贵的钻铤材料(例如,对于较小横截面区域具有适当强度),以便满足结构约束,同时还为NMR部件提供足够的灵敏度/准确度。

[0039] 因此,本公开提供了一种改进的NMR传感器,其具有改进的准确度和灵敏度,同时还能平衡与钻铤的材料相关联的结构和成本约束。特别地,图5和图6示出了用这种成本有效的方法构造的NMR传感器500的一个实施方案。

[0040] 图5是设置在钻铤305的内部体积中的NMR传感器500的透视等距视图,并且图6示出了沿着图5所示的切割线5-5取得的NMR传感器500的横截面图。总的来说,图5和图6示出了根据与用于构造钻铤305的材料相关联的结构和成本约束来选择、设定尺寸和布置的NMR部件。

[0041] 参考图5,NMR传感器500包括磁体组件,所述磁体组件包括中心磁体320(耦合到增强器磁性元件520)和两个端磁体-例如,第一磁体310和第二磁体315。在此处,中心磁体320基本上和/或完全包围增强器磁性元件520。增强器磁性元件520从中心磁体320的每一端向外延伸,以形成第一轴向侧520a和与第一轴向侧520a相对的第二轴向侧520b。可以包括一个或多个天线和软磁芯(未示出)的天线组件530定位在钻铤305的凹部中,并且定位在增强器磁体元件的第一轴向侧520a与第二轴向侧520b之间。值得注意的是,天线组件基本上包围中心磁体320。

[0042] 此外,类似于图3至图4(上文论述),NMR传感器500包括第一磁体310,所述第一磁体310接近增强器磁性元件520的第一轴向侧520a定位以形成NMR传感器的一端;以及第二磁体315,所述第二磁体315接近增强器磁性元件520的第二轴向侧520b定位以形成NMR传感器的另一端。

[0043] 图6提供了沿着图5的切割线6-6观察到的NMR传感器500的横截面图。在此处,图6示出了磁性组件的横截面区域,所述横截面区域通过增强器磁性元件520增大或扩展。增强器磁性元件520增大由磁性组件(具体是第一磁体310和第二磁体315)产生的磁场的强度,同时还保留钻铤305的总结构完整性。增强器磁性元件520具体地(例如,在轴线300a的方向上)延伸磁性组件的纵向横截面区域,而不会对钻铤材料的横向横截面区域产生显著影响,所述横向方向对应于由钻铤305经受的各种应力。以此方式,增强器磁性元件520的延伸超过中心磁体320的端部的尺寸不会显著减小钻铤305的材料的横向横截面区域,从而保留其结构完整性以抵抗在横向方向上的力。

[0044] 如所论述,增强器磁性元件520可操作地增大由磁性组件(例如,第一磁体310和第二磁体315)产生的磁场的强度。例如,图3至图4所示的由磁性组件产生的静磁场 B_0 由以下等式表示:

[0045] 等式1: $B_0 = B_{0(\text{侧})} + B_{0(\text{成形})}$

[0046] 其中 $B_{0(\text{侧})}$ 由第一磁体310和第二磁体315产生的磁场,并且 $B_{0(\text{成形})}$ 是由中心磁体-例如中心磁体320产生的磁场。

[0047] 图5和图6所示的NMR传感器的静磁场 B'_0 由以下给出:

[0048] 等式2: $B'_0 = B_{0(\text{侧})} + B_{0(\text{增强器})} + B'_{0(\text{成形})}$

[0049] 等式3: $B'_0 = B_{0(侧)} \left(1 + \frac{A_{(增强器)}}{A_{(侧)}}\right) + B'_{0(成型)}$

[0050] 其中 $B_{0(增强器)}$ 是由增强器磁性元件520产生的磁场, $A_{(增强器)}$ 是增强器磁性元件520的横截面积,并且 $A_{(侧)}$ 是每个侧磁体(例如,第一磁体310和第二磁体315)的横截面积。

[0051] 如果根据以下选择磁性组件的横截面积,

[0052] 等式4: $A'_{(成型)} = A_{(成型)} \left(1 + \frac{A_{(增强器)}}{A_{(侧)}}\right)$, 则

[0053] 等式5: $B'_{0(成型)} = B_{0(成型)} \left(1 + \frac{A_{(增强器)}}{A_{(侧)}}\right)$

[0054] 总静磁场可以表示为:

[0055] 等式6: $B'_0 = B_0 \left(1 + \frac{A_{(增强器)}}{A_{(侧)}}\right)$

[0056] 因此,静磁场保留了其均匀性并且增强了 $\left(1 + \frac{A_{(增强器)}}{A_{(侧)}}\right)$ 倍。

[0057] 仍然参考图6,对于给定的轴向均匀性,磁性组件的横截面区域(包括其总直径 $OD_{(成型)}$)最大化静磁场,同时还满足对钻铤305的横截面直径的成本和结构约束。例如,钻铤305当在井筒环境中操作时可能经受扭矩(T)力。对于给定的扭矩约束,施加到容纳NMR部件的钻铤的横截面区域的最大剪切应力 $T_{最大}$ 可以如下近似均匀的中空圆形区段的最大剪切应力:

[0058] 等式7: $T_{最大} = \frac{16}{\pi} * \frac{T * ID_{(天线)}}{ID_{(天线)}^4 - OD_{(成型)}^4}$

[0059] 其中 $ID_{(天线)}$ 表示天线组件530(例如,包括软磁芯(未示出))的内径。

[0060] 对于给定横截面区域,用于构造钻铤305的材料的最大容许剪切或弯曲应力由其剪切强度决定。如所论述,钻铤305的外径是固定的。因此,材料的最大容许应力进一步限制用于容纳NMR传感器部件的内部体积,从而限制磁性组件的外径尺寸($OD_{(成型)}$)并且限制 $ID_{(天线)}$ 尺寸。以此方式,最大容许应力部分地限定钻铤的最小壁厚或在钻铤的外径与其内径之间的材料的最小横截面区域。

[0061] 尽管上文说明了扭矩(T)力,但是各种其他力、载荷、应力等等可以类似地限制NMR传感器部件的内部体积和尺寸。以上等式可以被适应并应用于更细化的横截面需求,诸如对应于中心磁体的横截面以及对应于第一磁体310和/或第二磁体315的横截面:

[0062] 等式8: $ID_{(天线)}^2 - OD_{(成型)}^2 \approx OD_{(钻铤)}^2 - OD_{(侧)}^2$

[0063] 其中 $OD_{(钻铤)}$ 表示钻铤的外径,并且 $OD_{(侧)}$ 表示端磁体(例如,第一磁体310和/或第二磁体320)的外径。

[0064] 图7是根据本公开的另一个实施方案的NMR传感器700的透视等距视图。如所示,NMR传感器700包括磁性组件,所述磁性组件包括中心磁体320、增强器磁性元件520和软磁芯721(其可以形成天线组件530的一部分)。在此处,出于清楚和论述的目的,软磁芯721被示出为单独的部件。软磁芯721围绕中心磁体320的至少一部分延伸。出于本文说明和论述的目的,软磁芯721以剖视图示出,使得可以观察到磁性组件的内部部件。类似于软磁芯321

(上文论述),软磁芯721为由天线组件530产生的RF磁场集中磁通。软磁芯721还对NMR部件进行电磁屏蔽以使其免受由天线组件530产生的RF磁场的影响。因此,通过软磁芯721降低了NMR传感器300中的涡流损耗。这种涡流的减少还可以减少电磁声振鸣,这可能会对所产生的NMR信号造成不期望的信号干扰。

[0065] 软磁芯721还可以根据其材料的磁导率使来自静磁场的磁通量短路。一般而言,材料的较大的磁导率对应于磁通量的较大的短路能力。然而,磁通量的短路削弱了研究体积325中的静磁场,并且还可能会使软磁芯721饱和,并因此降低其效率。因此,软磁芯721通常被构造成在静磁场的方向上具有较低的有效磁导率,以减少磁通量的短路以及其他不期望的效果。软磁芯721可以由具有随方向变化的磁导率的各向异性磁性材料制成或者另外包括所述各向异性磁性材料,或者可以由具有不随方向变化的磁导率的各向同性磁性材料制成或另外包括所述各向同性磁性材料。

[0066] 图8是根据本公开的各种实施方案的NMR传感器800的透视等距视图。如所示,NMR传感器800特别包括具有两个互相正交的横向偶极天线-在此处为天线831和天线832的天线组件。天线831和天线832至少部分地彼此重叠并且至少部分地外接磁性组件(以及尤其是中心磁体320)。天线831和天线832互相正交,并且实现圆极化激发和正交线圈检测(在由 B_{RF1} 和 B_{RF2} 所示的方向上),以便提高信噪比并且降低总功耗。值得注意的是,在一些实施方式中,天线组件可以另外或可选地包括执行天线831和天线832的相同操作的一体式线圈组。例如,可以使用一体式线圈(例如,代替两个横向偶极天线)来产生圆极化并且执行正交线圈检测。可以被适应以执行这类操作的一体式线圈组的实例包括多线圈或复杂单线圈布置,例如像通常用于高磁场磁共振成像(MRI)的鸟笼型线圈。

[0067] 图9是根据本公开的一个或多个实施方案的用于构造NMR传感器的示例性简化程序900。程序900开始于步骤905并且继续到步骤910,其中如上所述,基于满足结构约束(例如,承受井筒环境中的各种力)的材料的横截面区域的成本和最小直径而选择材料来构造钻铤。

[0068] 在步骤915处,程序900基于材料的横截面区域的最小直径而确定钻铤的内部体积以容纳一个或多个钻井部件(例如,NMR传感器部件)。接着,程序900基于钻铤材料的横截面区域的最小厚度(例如,最小壁厚)并另外基于磁场需求(例如,强度、轴向均匀性、径向梯度等)而确定NMR传感器部件的尺寸。如上文更详细所论述,NMR传感器部件包括磁性组件,所述磁性组件具有耦合到增强器磁性元件的中心磁体以及第一端磁体和第二端磁体。对于每个NMR传感器部件,基于有关钻铤材料的对应的横向横截面区域的钻铤材料的最小厚度而确定各个尺寸(例如,相应的直径尺寸等)。例如,部分地基于包围第一磁体的材料的横截面区域的最小厚度而确定第一磁体的直径,以此类推。

[0069] 接着,在步骤925处,将耦合到增强器磁性元件的中心磁体设置在钻铤的内部体积中。如上所述,中心磁体耦合到增强器磁性元件并且基本上包围所述增强器磁性元件。另外,增强器磁性元件从中心磁性元件的每一端向外延伸,以形成第一轴向侧和与第一轴向侧相对的第二轴向侧。增强器磁性元件作用来通过增加有效的磁横截面区域来增大由NMR传感器(例如,第一端磁体和第二端磁体)产生的磁场,这允许NMR传感器以较高频率操作,提高信噪比,提高准确度等等。增强器磁性元件尤其增加了纵向方向的磁横截面区域,而仅最低限度地增加了横向方向的磁横截面区域。以此方式,在钻铤在井筒操作期间经受各种

力时,增强器磁性元件不会损害钻铤的完整性。

[0070] 在步骤930处,围绕中心磁体的至少一部分并在增强器磁性元件的第一轴向侧与第二轴向侧之间定位天线组件。例如,如上所述,天线组件可以设置在钻铤的凹部中。值得注意的是,如本领域中所了解,天线组件可以包括一个或多个天线(例如,单极天线、偶极天线、互相正交的横向偶极天线等)以及软磁芯。

[0071] 在步骤935和步骤940处,在接近增强器磁性元件的第一轴向侧处将第一端磁体定位在内部体积中,并且在接近增强器磁性元件的第二轴向侧处将第二端磁体相应地定位在内部体积中。

[0072] 程序900随后在步骤945处结束,但是可以继续从步骤905处再次开始。应注意,程序900内的某些步骤可以是任选的,并且另外,图9所示的步骤仅是用于说明的实例-可以根据需要包括或排除某些其他步骤。另外,虽然示出了步骤的特定顺序,但是这种排序仅仅是说明性的,并且可以在不脱离本文的实施方案的范围的情况下利用所述步骤的任何合适的安排。

[0073] 虽然本说明书包含许多细节,但是这些细节不应被解释为限制可能要求保护的内容的范围,反而应描述为特定实例所特有的特征。还可以组合本说明书中在独立实施方式背景中描述的某些特征。相反,在单一实现方式背景下描述的各种特征也可以在多个实施方案中单独地或以任何合适的子组合实施。已描述了多个实例。然而,将理解,可以作出各种修改。因此,其他实现方式也处于以下权利要求的范围内。

[0074] 虽然已经示出并描述了提供实际井筒路径与计划井路径之间的位置和姿态的同时收敛的基于曲率的反馈控制装置的说明性实施方案,但是应理解,可以在本文的实施方案的精神和范围内作出各种其他调整和修改。例如,本文中已经相对于圆柱形磁性元件的特定配置示出和描述了实施方案。然而,所述实施方案在其更广泛的意义上不应是限制性的,并且实际上可以与任何磁性元件配置一起使用。此外,应了解,在不脱离本公开的精神和范围的情况下,可以容易地包括支持NMR操作的各种其他部件。因此,本说明书仅视为举例,并且不另外限制本文的实施方案的范围。因此,所附权利要求的目的是覆盖落入本文的实施方案的真实精神和范围内的所有这类变化和修改。

[0075] 公开声明包括:

[0076] 声明1:一种方法,所述方法包括:基于满足结构约束的材料的横截面区域的成本和最小厚度而选择材料来构造钻铤;至少部分地基于材料的横截面区域的最小厚度而确定钻铤的内部体积以容纳一个或多个钻井部件;将耦合到增强器磁体元件的中心磁体设置在内部体积中,中心磁体基本上包围增强器磁性元件的至少一部分,并且增强器磁性元件从中心磁性元件的第一端向外延伸以形成第一轴向侧,并且从中心磁体的第二端向外延伸以形成与第一轴向侧相对的第二轴向侧;在第一轴向侧与第二轴向侧之间并围绕中心磁体的至少一部分接近于内部体积定位天线组件;在接近增强器磁性元件的第一轴向侧处将第一端磁体定位在内部体积中;以及在接近增强器磁性元件的第二轴向侧处将第二端磁体定位在内部体积中。

[0077] 声明2:如声明1所述的方法,所述方法还包括:确定设置在中心磁体与天线组件之间的材料的横截面区域的最小厚度。

[0078] 声明3:如声明1或2所述的方法,所述方法还包括:基于设置在中心磁体与天线组

件之间的材料的横截面区域的最小厚度而确定中心磁体的一部分的外径。

[0079] 声明4:如声明1所述的方法,所述方法还包括:基于设置在第一端磁体与中心磁体之间的材料的横截面区域的最小厚度而确定第一端磁体的第一外径;基于设置在第二端磁体与中心磁体之间的材料的横截面区域的最小厚度而确定第二端磁体的第二外径;以及基于设置在中心磁体与天线组件之间的材料的横截面区域的最小厚度而确定中心磁体的第三外径。

[0080] 声明5:如声明4所述的方法,其中第三外径小于第一外径并且小于第二外径。

[0081] 声明6:如声明1所述的方法,其中第一端磁体具有第一直径,第二端磁体具有第二直径,并且中心磁体具有第三直径,并且其中第三直径小于第一直径并且小于第二直径。

[0082] 声明7:如声明1所述的方法,其中中心磁体使部分地由第一端磁体、第二端磁体和增强器磁性元件产生的静磁场成形,所述方法还包括:基于轴向均匀性约束或径向梯度约束中的至少一者而确定中心磁体中的每一者的尺寸以使静磁场成形。

[0083] 声明8:如声明1至7中一项或多项所述的方法,其中天线组件包括至少一个线圈。

[0084] 声明9:如声明8所述的方法,其中至少一个线圈形成横向偶极天线,所述方法还包括:使用天线组件的至少一个线圈形成横向偶极天线;将天线罩联接到横向偶极天线;以及将天线罩联接到钻铤的内壁。

[0085] 声明10:如声明1至7中一项或多项所述的方法,其中天线组件包括至少两个横向偶极天线,所述方法还包括:将第一横向偶极天线定向成正交于第二横向偶极天线。

[0086] 声明11:如声明1至7中一项或多项所述的方法,其中天线组件包括基本上包围中心磁体的至少一部分的软磁芯。

[0087] 声明12:如声明1至7中一项或多项所述的方法,所述方法还包括:基于材料的横截面区域的最小厚度的剪切应力公差而确定结构约束。

[0088] 声明13:如声明1至7中一项或多项所述的方法,其中天线组件包括至少两个互相正交的横向偶极天线。

[0089] 声明14:一种能够在井筒环境中操作的系统,所述系统包括:钻铤,所述钻铤具有内部体积,所述内部体积围绕钻井轴线限定管道并且容纳一个或多个钻井部件,所述内部体积由与满足结构约束的横截面区域的最小厚度相关联的材料成本决定;耦合到增强器磁性元件的中心磁体,所述中心磁体设置在内部体积中,中心磁体基本上包围增强器磁性元件的至少一部分,增强器磁性元件从中心磁性元件的第一端向外延伸以形成第一轴向侧并且从中心磁性元件的第二端向外延伸以形成与第一轴向侧相对的第二轴向侧;天线组件,所述天线组件在第一轴向侧与第二轴向侧之间并围绕中心磁体的至少一部分接近内部体积定位;第一端磁体,所述第一端磁体在接近第一轴向侧处定位在内部体积中;以及第二端磁体,所述第二端磁体在接近第二轴向侧处定位在内部体积中。

[0090] 声明15:如声明14所述的井系统,其中第一端磁体具有第一外径,第二端磁体具有第二外径,并且中心磁体具有第三外径,其中第三外径小于第一外径并且小于第二外径。

[0091] 声明16:如声明14至15中一项或多项所述的井系统,其中天线组件包括横向偶极天线,以在正交于静磁场的方向上产生射频(RF)磁场,所述静磁场部分地由第一端磁体和第二端磁体感生。

[0092] 声明17:如声明14至16中一项或多项所述的井系统,其中钻铤的一部分限定凹部,

其中天线组件包括至少一个线圈和天线罩,并且其中天线组件设置在所述凹部中。

[0093] 声明18:一种核磁共振(NMR)传感器,所述NMR传感器包括:耦合到增强器磁性元件的中心磁体,所述中心磁体由钻铤的内部体积容纳,所述内部体积由与满足结构约束的横截面区域的最小厚度相关联的材料成本决定,中心磁体基本上包围增强器磁性元件的至少一部分,增强器磁性元件从中心磁性元件的第一端向外延伸以形成第一轴向侧并且从中心磁性元件的第二端向外延伸以形成与第一轴向侧相对的第二轴向侧;天线组件,所述天线组件在第一轴向侧与第二轴向侧之间并围绕中心磁体的至少一部分接近于内部体积定位;第一端磁体,所述第一端磁体在接近第一轴向侧处定位在内部体积中;以及第二端磁体,所述第二端磁体在接近第二轴向侧处定位在内部体积中。

[0094] 声明19:如声明18所述的NMR传感器,其中钻铤的一部分限定凹部,并且其中天线组件设置在所述凹部中。

[0095] 声明20:如声明18至19中一项或多项所述的NMR传感器,其中第一端磁体和第二端磁体是永磁体,并且其中天线组件包括软磁芯。

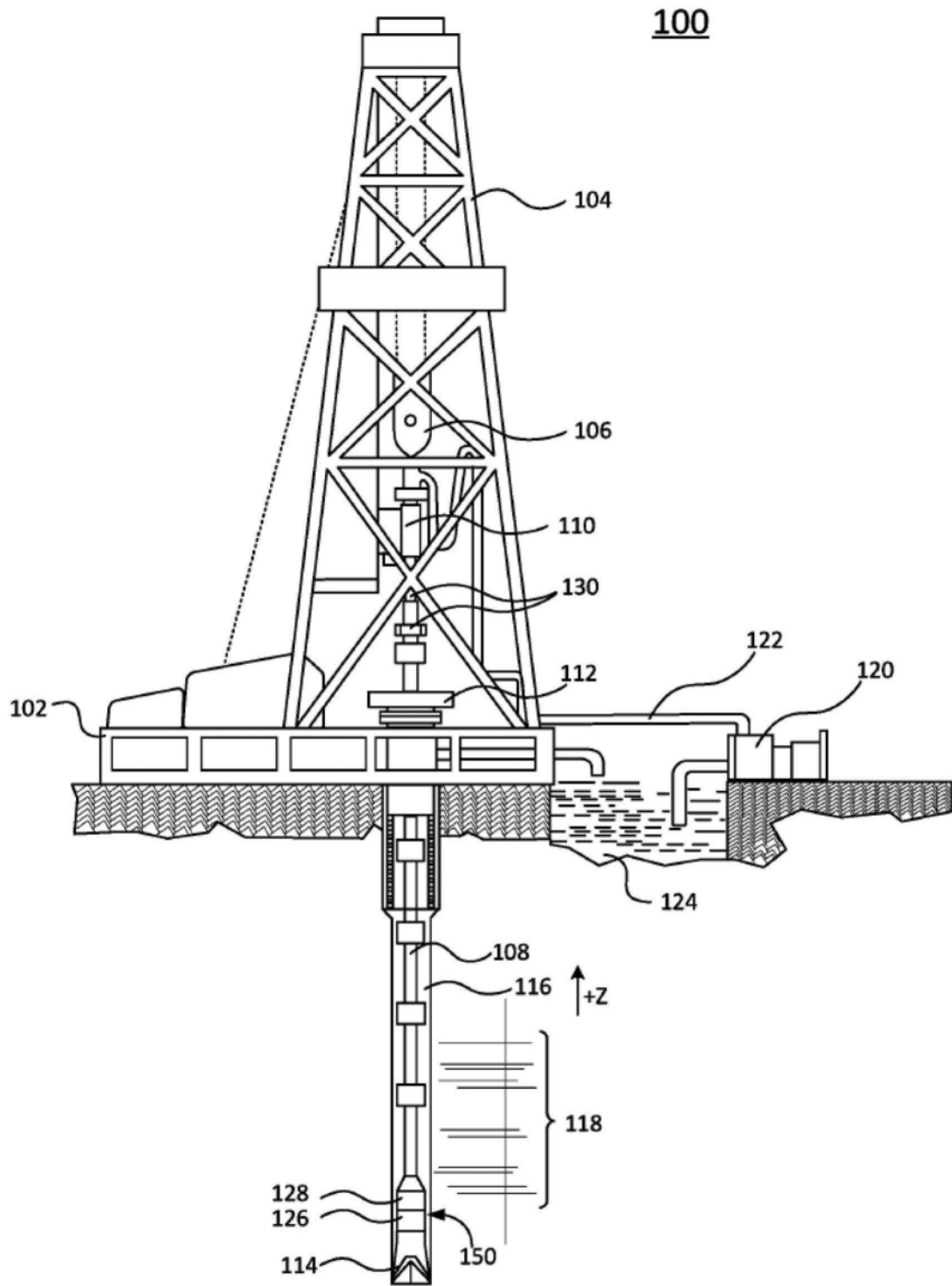


图1

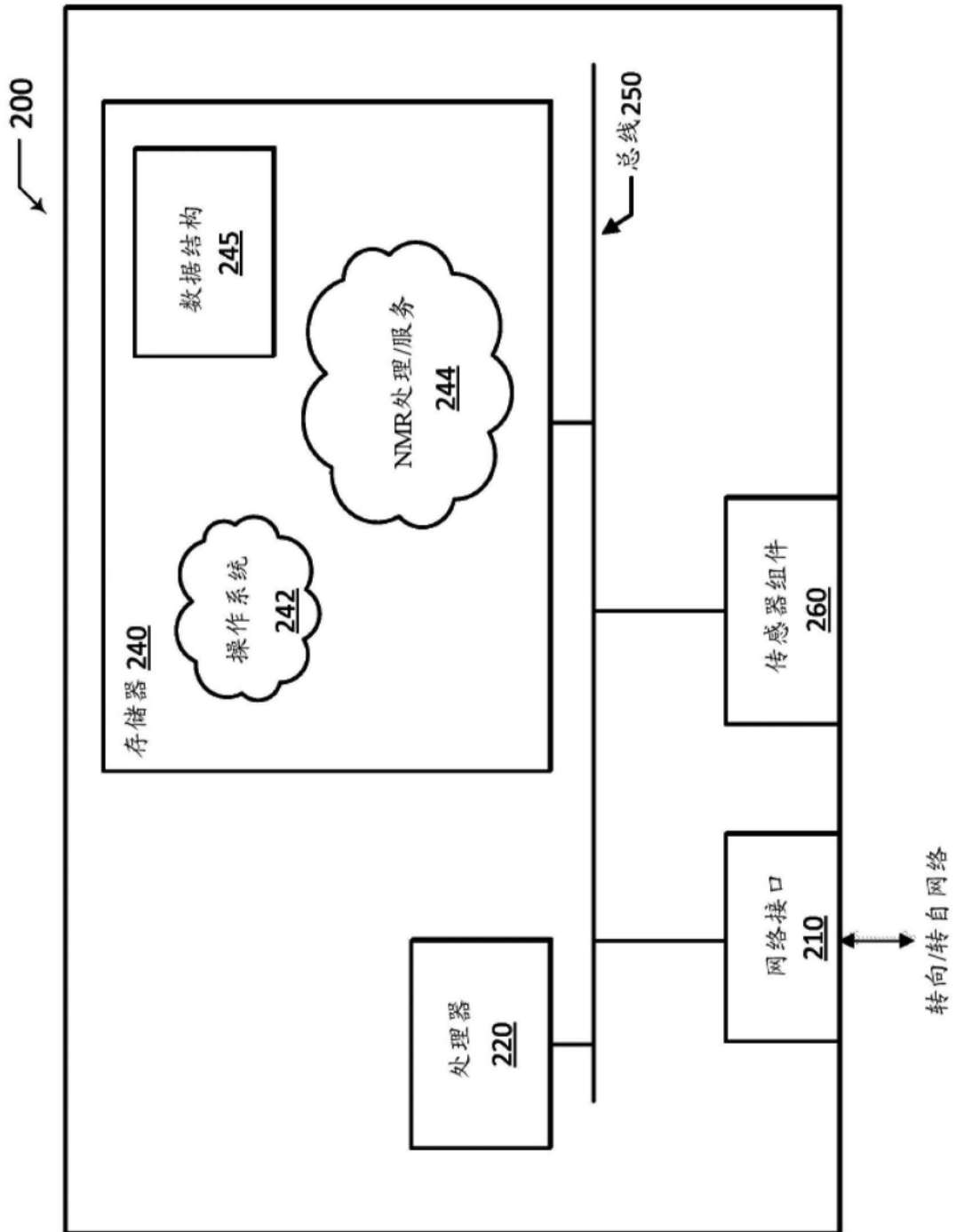


图2

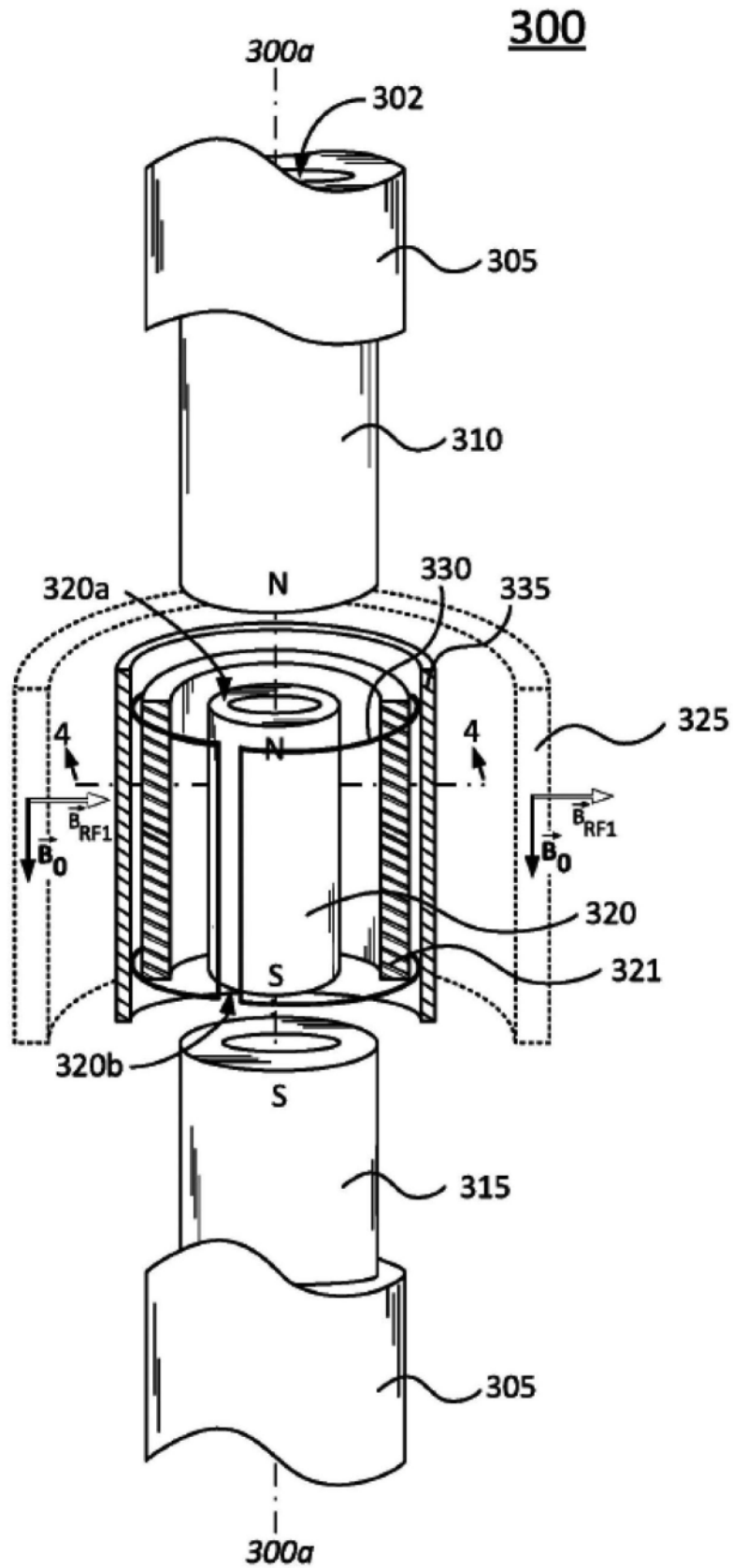


图3

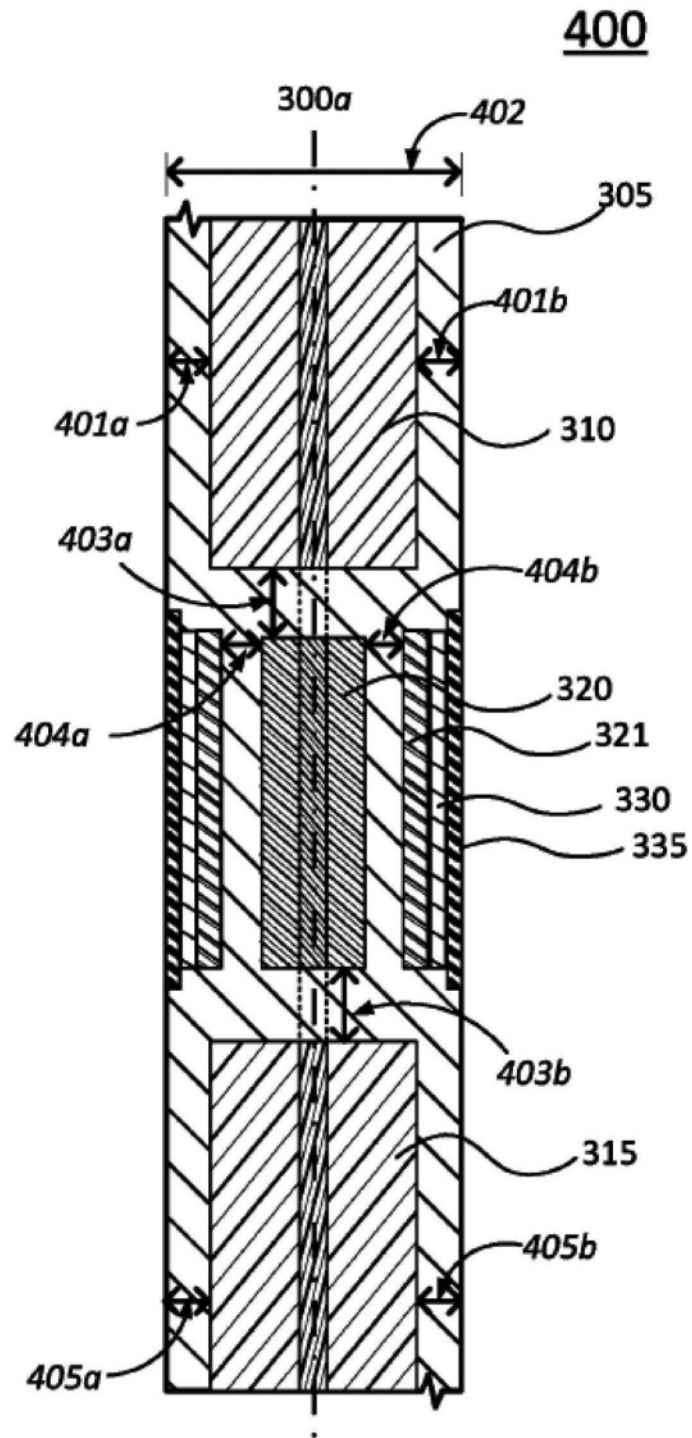


图4

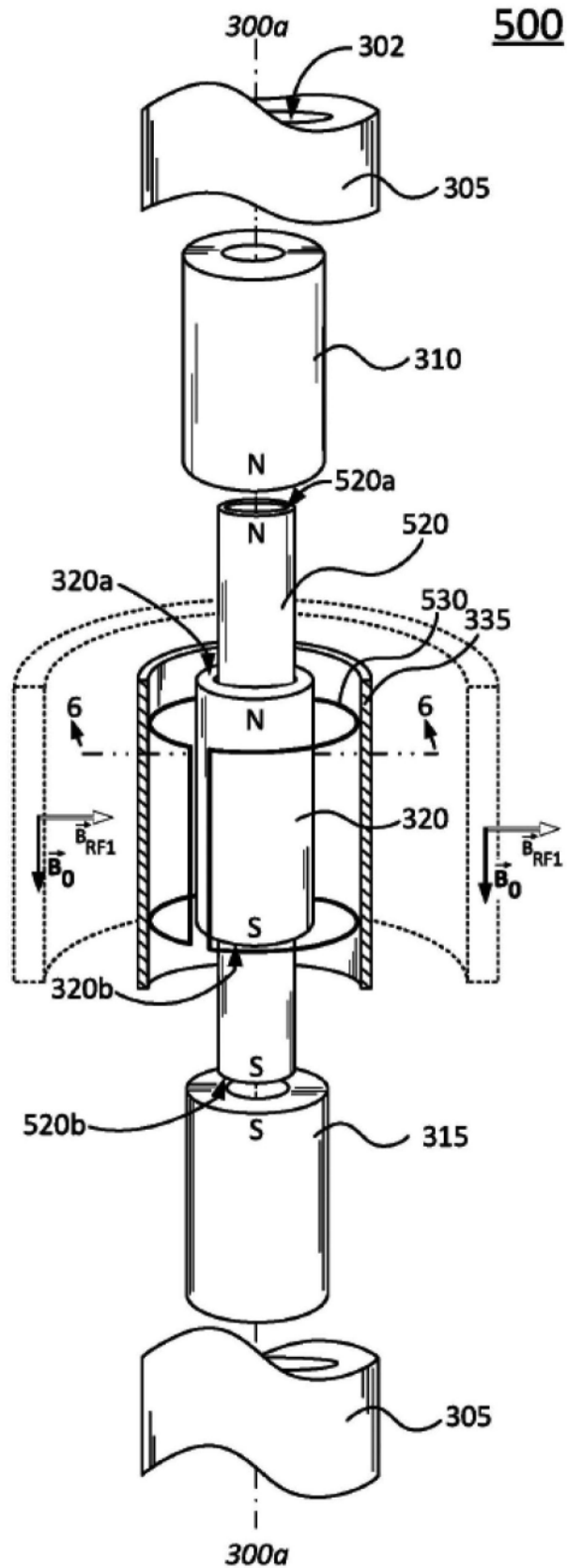


图5

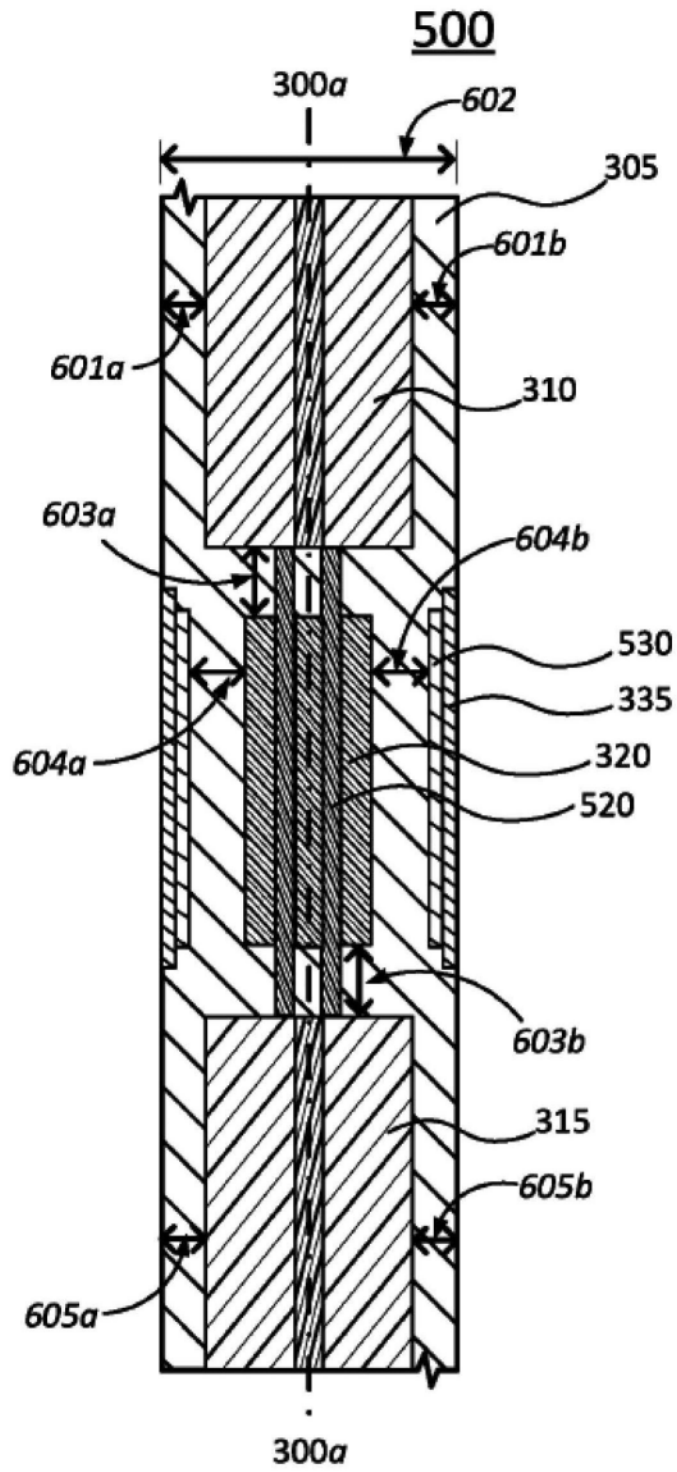


图6

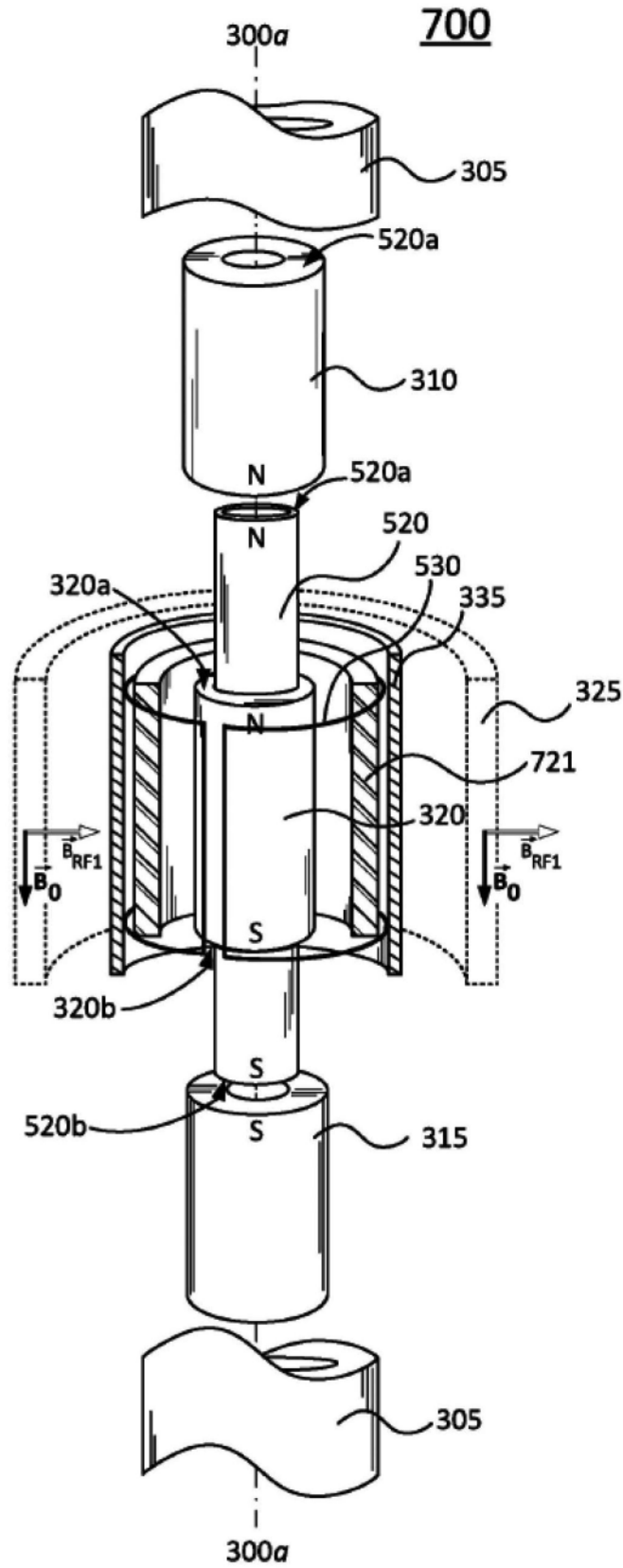


图7

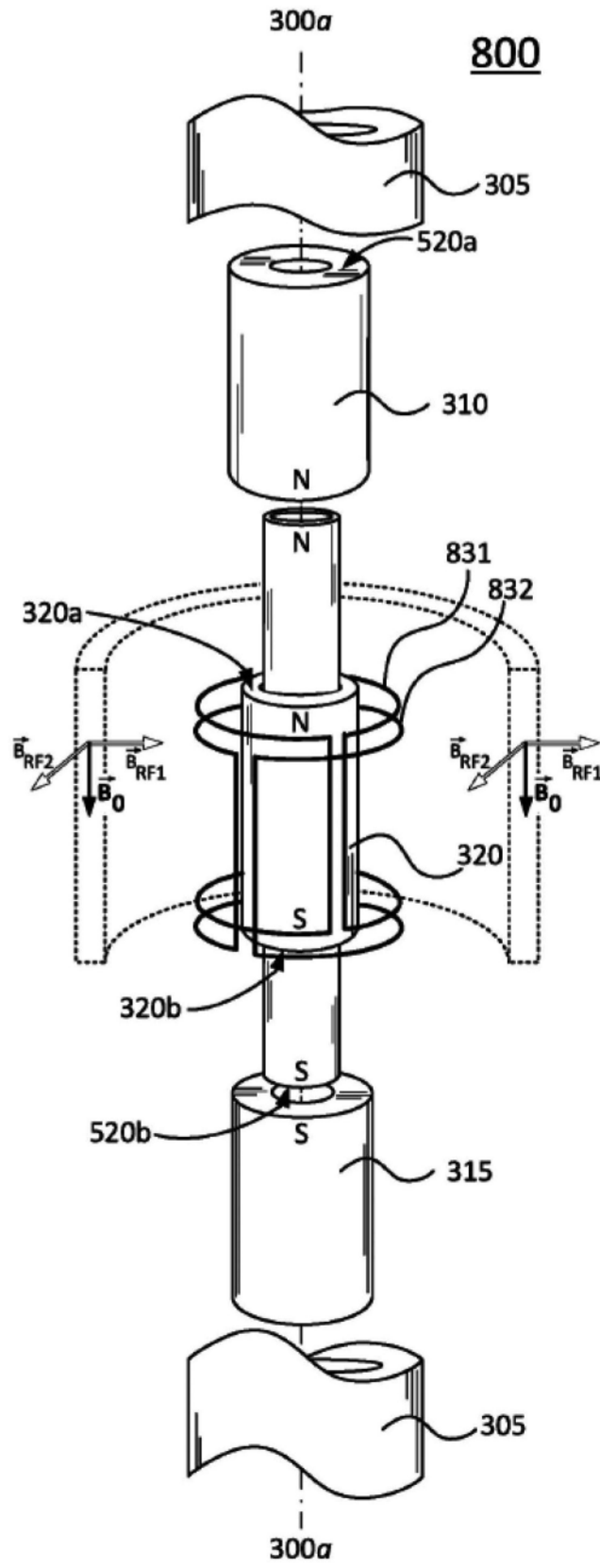


图8

900

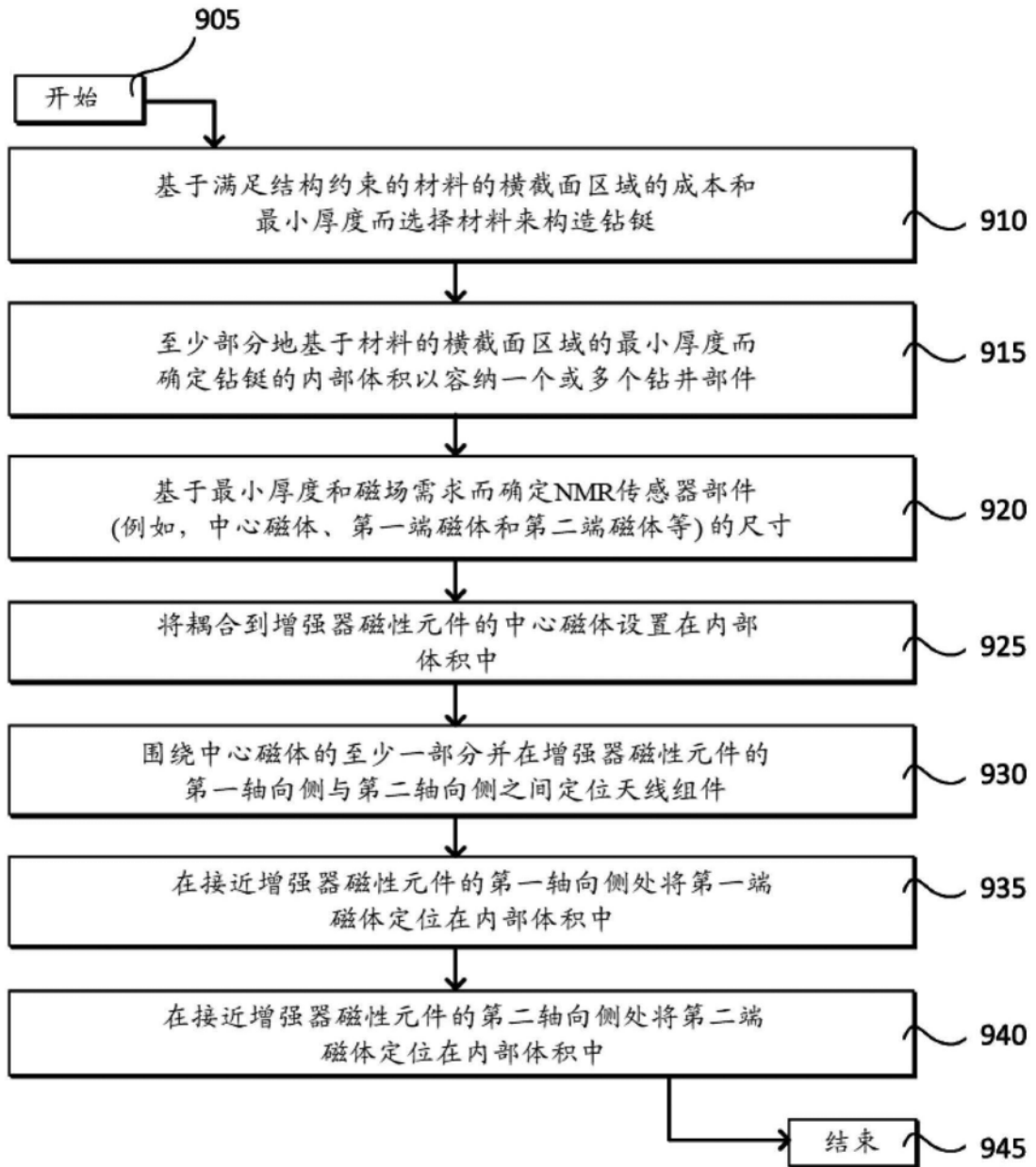


图9