



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101183591 B

(45) 授权公告日 2013. 01. 16

(21) 申请号 200710153610. 5

JP 特开平 9-217964 A, 1997. 08. 19,

(22) 申请日 2007. 09. 07

US 4689970 A, 1987. 09. 01,

CN 85106738 A, 1986. 06. 10,

(30) 优先权数据

11/530, 267 2006. 09. 08 US

审查员 王南野

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 E·T·拉斯卡里斯 K·M·阿姆

J·A·瑞安 黄先锐

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 张雪梅 张志醒

(51) Int. Cl.

H01F 6/04 (2006. 01)

G01R 33/20 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1130250 A, 1996. 09. 04,

JP 特开平 10-89867 A, 1998. 04. 10,

US 6443225 B1, 2002. 09. 03,

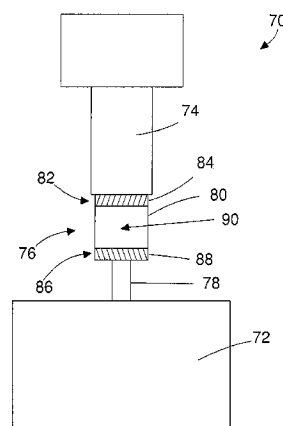
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

用于超导磁体冷却系统的热开关

(57) 摘要

本发明提供一种使低温冷却器 (74) 从 MR 系统的冷块储存器 (72) 自动断开的装置和方法。低温冷却器热链接 (76) 包括设置成热连接至低温冷却器 (74) 的第一端板 (84) 和设置成热连接至冷块 (72) 的第二端板 (88)。一个壁包围第一 (84) 和第二端板 (88) 之间的空间 (80), 该壁具有附着到第一端板 (84) 上的第一端 (82) 和附着到第二端板 (88) 上的第二端 (86)。工作流体 (90) 位于该空间 (80) 内。



1. 一种低温冷却器热链接 (76), 包括:  
设置成热连接至低温冷却器 (74) 的第一端板 (84);  
设置成热连接至冷块 (72) 的第二端板 (88);  
包围第一端板 (84) 和第二端板 (88) 之间的空间 (80) 的壁, 该壁具有附着到第一端板 (84) 上的第一端 (82) 和附着到第二端板 (88) 上的第二端 (86); 以及  
位于该空间 (80) 内的工作流体 (90),  
其中第一端板 (84) 靠重力位于第二端板 (88) 上。
2. 根据权利要求 1 所述的低温冷却器热链接, 其中第一端板 (84) 的温度低于第二端板 (88) 的温度。
3. 根据权利要求 2 所述的低温冷却器热链接, 其中第一端板 (84) 的温度低于工作流体 (90) 的冷凝温度。
4. 根据权利要求 3 所述的低温冷却器热链接, 具有在第一端板 (84) 上形成的工作流体 (90) 的冷凝液。
5. 根据权利要求 2 所述的低温冷却器热链接, 其中第二端板 (88) 的温度高于工作流体 (90) 的沸点温度。
6. 根据权利要求 1 所述的低温冷却器热链接, 其中第一端板 (84) 的温度高于第二端板 (88) 的温度。
7. 根据权利要求 6 所述的低温冷却器热链接, 其中工作流体 (90) 的温度在该空间内分层。
8. 根据权利要求 1 所述的低温冷却器热链接, 其中包围该空间 (80) 的壁的导热性小于第一端板 (84) 和第二端板 (88) 中之一的导热性。
9. 根据权利要求 1 所述的低温冷却器热链接, 其中工作流体 (90) 是氦、氢、氖和氮中的一种。

## 用于超导磁体冷却系统的热开关

### 技术领域

[0001] 本发明一般涉及超导磁体系统,更尤其涉及超导磁体系统的低温冷却器和冷块(cold mass) 储存器之间的自动热连接和断开。

### 背景技术

[0002] 运行在 AC 环境中的示范性超导磁体系统包括变压器、发电机、电机、超导磁体能量存储器(SMES) 和磁共振(MR) 系统。虽然常规的 MR 磁体运行在 DC 模式下,但是一些 MR 磁体可运行在来自梯度线圈的 AC 磁场下,此时对磁体的梯度泄漏场很高。这种 AC 磁场在磁体内产生 AC 损耗。为解释说明的目的,在此呈现 MR 系统示范性细节的说明性讨论。

[0003] 当诸如人体组织的物质遭受到均匀磁场(极化场  $B_0$ ) 时,组织内自旋的各个磁力矩试图与该极化场对准,但以它们特有的拉莫尔(Larmor) 频率按照随机顺序关于该极化场进动。如果该物质,或组织,遭受到处于  $x-y$  平面内且接近拉莫尔频率的磁场(激励场  $B_1$ ), 则净对准力矩,或者“纵向磁化”  $M_z$ , 可以旋转或“翻转”进入  $x-y$  平面以生成净横向磁力矩  $M_t$ 。在激励信号  $B_1$  终止后由激励自旋发射出信号,该信号可以经接收和处理以形成图像。

[0004] 当利用这些信号生成图像时,采用磁场梯度( $G_x, G_y$ , 和  $G_z$ )。典型地,对待成像区域进行一系列测量周期的扫描,其中这些梯度按照所使用的特定定位方法改变。使所得到的一组接收的 NMR 信号被数字化并被进行处理,以采用许多公知的重建技术重建图像。

[0005] MR 系统典型地采用超导磁体,通常具有多个线圈以产生均匀磁场。这些超导磁体是由液氮冷却的冷块的一部分。这些磁体典型地由用液氮冷却到 4.2K 温度的铌钛材料制成。通常,低温冷却器用于由于冷块上热负载而蒸发的氮重新液化。这具有需要供应液氮的缺点,其成本较高且在偏远地区和不发达的国家可能不可用。此外,在发生冷却系统的电源或机械故障时,在超导磁体作用丧失出现前,只有氮储备的潜在热量能够得到继续操作。

[0006] 常常地,冷块直接通过采用低温冷却器被冷却至超导温度。为使低温冷却器直接冷却设备的冷块,低温冷却器和冷块必须直接热接触。然而,在低温冷却器发生故障时,低温冷却器将会快速升至室温。由于低温冷却器与冷块的直接热短路,冷块同样将会快速变暖,这导致超导磁体作用丧失和磁性弱化。

[0007] 此外,有时需要使低温冷却器从冷却系统断开以进行维修或更换。典型地,这需要将冷却系统带至室温下。断开处理是耗时的并需要使 MR 系统长时间关断。当修理没有排定时间时,这尤其成为一个问题,其会导致患者不得不重新制定医疗过程时间表。

[0008] 因此需要有一种能够在低温冷却器发生故障时,使低温冷却器与设备冷块的热接触快速和自动断开并且自动重新连接的系统和方法。还需要使低温冷却器能够从冷块临时断开以对低温冷却器进行维修和/或更换,同时不会使整个冷块升至室温。

### 发明内容

[0009] 本发明提供一种使低温冷却器从 MR 系统的冷块储存器断开的系统和方法,该系

统和方法克服了前述缺点。在低温冷却器和冷块储存器之间设置具有工作流体的热链接 (thermal link)。在低温冷却器运行期间,热传递以工作流体的沸腾或相变为主,用作低温冷却器和冷块储存器之间的热短路。当低温冷却器的运行中止时,热链接内的热传递以工作流体的传导为主,用作低温冷却器和冷块储存器之间的热开路。

[0010] 根据本发明的一个方面,低温冷却器热链接包括设置成热连接至低温冷却器的第一端板和设置成热连接至冷块的第二端板。一个壁包围第一和第二端板之间的空间且具有附着到第一端板上的第一端和附着到第二端板上的第二端。低温冷却器热链接还包括位于该空间内的工作流体。

[0011] 本发明还涉及一种 MRI 系统,该系统包括超导磁体组件冷块、低温冷却器和位于冷块与低温冷却器之间的热开关。该热开关包括与低温冷却器热接触的第一端板和与冷块热接触的第二端板。一个壁连接至第一端板和第二端板,形成外壳。工作流体容纳在该外壳内并且与第一端板和第二端板热接触。

[0012] 本发明还涉及具有第一端板的低温冷却器和具有第二端板的冷块之间的热传递控制方法。该方法包括以下步骤:在第一端板和第二端板之间形成外壳,靠重力在第二端板之上定向第一端板,以及用工作流体填充外壳。工作流体与第一端板和第二端板热接触。

[0013] 本发明的各种其它特点和优点将从下面的详细描述和附图中变得明显。

#### 附图说明

[0014] 这些图示出目前打算用于执行本发明的一个优选实施例。

[0015] 在图中:

[0016] 图 1 是供本发明使用的 MR 成像系统的示意性框图。

[0017] 图 2 是根据本发明实施例的低温冷却系统的示意性框图。

[0018] 图 3 示出在低温冷却系统运行期间图 2 的热链接。

[0019] 图 4 示出在低温冷却系统运行停止后图 2 的热链接。

#### 具体实施方式

[0020] 参见图 1,在实例中,超导磁体系统 10 包括运行于交流 (AC) 环境中的超导磁体系统。示范性超导磁体系统包括变压器、发电机、电机、超导磁体能量存储器 (SMES),和 / 或磁共振 (MR) 系统。虽然常规的 MR 磁体运行在 DC 模式下,但一些 MR 磁体可运行在来自梯度线圈的 AC 磁场下,此时对磁体的梯度泄漏场很高。这种 AC 磁场在磁体内产生 AC 损耗。为解释说明的目的,在此呈现 MR 系统示范性细节的说明性讨论。

[0021] 该系统的运行受操作者控制台 12 的控制,控制台 12 包括键盘或其它输入装置 13、控制面板 14 和显示屏 16。控制台 12 通过链接 18 与独立的计算机系统 20 通信,计算机系统 20 使操作者能够在显示屏 16 上控制图像的生成和显示。计算机系统 20 包括通过底板 20a 相互通信的多个模块。这些模块包括图像处理模块 22、CPU 模块 24 和存储器模块 26,其在本领域中被称作用于存储图像数据阵列的帧缓冲器。计算机系统 20 链接到用于存储图像数据和程序的磁盘存储器 28 和可移动存储器 30,并通过高速串行链路 34 与独立的系统控制 32 通信。输入装置 13 可包括鼠标、操纵杆、键盘、轨迹球、触摸致动屏、光棒 (light wand)、语音控制,或者任何类似或等同的输入装置,并可用于交互式几何结构指示

(prescription)。

[0022] 系统控制 32 包括由底板 32a 链接在一起的一组模块。这些模块包括 CPU 模块 36 和通过串行链路 40 连接至操作者控制台 12 的脉冲发生器模块 38。通过链接 40, 系统控制 32 从操作者接收命令以指示待进行的扫描序列。脉冲发生器模块 38 操作系统部件执行所需要的扫描序列并生成指示所生成的 RF 脉冲的时序、强度和形状的数据, 以及数据采集窗口的时序和长度。脉冲发生器模块 38 连接至一组梯度放大器 42, 以指示在扫描期间生成的梯度脉冲的时序和形状。脉冲发生器模块 38 还可从生理采集控制器 44 接收患者数据, 生理采集控制器 44 从连接至患者的多个不同传感器接收信号, 如来自附着到患者的电极的 ECG 信号。并且最后, 脉冲发生器模块 38 连接到扫描室接口电路 46, 该扫描室接口电路 46 从与患者状况和磁体系统相关的多种传感器接收信号。还通过该扫描室接口电路 46, 患者定位系统 48 接收命令以将患者移动到所需要的位置进行扫描。

[0023] 由脉冲发生器模块 38 产生的梯度波形施加到具有  $G_x, G_y, G_z$  放大器的梯度放大器系统 42。每个梯度放大器激发通常标记为 50 的梯度线圈组件中相应的物理梯度线圈, 以产生用于空间编码采集的信号磁场梯度。梯度线圈组件 50 形成磁体组件 52 的一部分, 磁体组件 52 包括极化磁体 54 和整体 RF 线圈 56。系统控制 32 中的收发器模块 58 产生由 RF 放大器 60 放大并通过发射 / 接收开关 62 耦合至 RF 线圈 56 的脉冲。所得到的由患者内的受激核发射的信号可由同一 RF 线圈 56 感测并通过发射 / 接收开关 62 耦合至前置放大器 64。放大的 MR 信号在收发器 58 的接收器部分中进行解调、滤波和数字化。发射 / 接收开关 62 受来自脉冲发生器模块 38 的信号控制, 以在发射模式期间将 RF 放大器 60 电连接到线圈 56, 并在接收模式期间将前置放大器 64 连接至线圈 56。发射 / 接收开关 62 还可使独立的 RF 线圈 (例如, 表面线圈) 用于发射或接收模式。

[0024] 由 RF 线圈 56 拾取的 MR 信号被收发器模块 58 数字化并传递到系统控制 32 中的存储器模块 66。当已在存储器模块 66 中采集了原始 k 空间数据的阵列时, 扫描完成。该原始 k 空间数据重新排列成用于每个待重建图像的独立 k 空间数据阵列, 且这些中的每一个被输入到阵列处理器 68, 阵列处理器 68 操作用于将数据傅立叶变换成图像数据阵列。该图像数据通过串行链路 34 传送到计算机系统 20, 在此其存储在存储器中, 如磁盘存储器 28。响应于自操作者控制台 12 接收的命令, 该图像数据可在长期存储器内存档, 如在可移动存储器 30 上, 或者其可由图像处理器 22 进一步处理并被传送到操作者控制台 12 并呈现在显示器 16 上。

[0025] 参见图 2, 示出了根据本发明的实施例的用于图 1 的超导磁体系统 10 的冷却系统 70。磁体组件 52 (图 1) 包括用于超导磁体系统 10 的冷块 72。低温冷却器 74 在冷却系统 70 运行期间通过热链接 76 热连接到冷块 72, 以使冷块 72 冷却到低温温度。在优选实施例中, 热汇流条 (bus-bar) 78 将热链接 76 热连接到冷块 72。

[0026] 热链接 76 包括低导热性外壳 80, 外壳 80 在第一端 82 处由冷凝器板 84 密封, 且在第二端 86 处由蒸发器板 88 密封。外壳 80 具有低导热性且优选为由诸如不锈钢的热绝缘材料构成的薄壁管, 从而使冷凝器板 88 和蒸发器板 84 之间以及穿过外壳 80 的热传导最小化。外壳 80 被填充有工作流体 90, 其在低温冷却器 74 运行时通过冷凝器板 84 和蒸发器板 88 之间的相变传递热量。考虑该工作流体 90 可基于所需要的冷块 72 的运行温度和低温冷却器 74 的运行温度来选择。例如, 对于 2-5K 的低温冷却器运行可选择氦, 对于 14-24K 的

低温冷却器运行可选择氢,对于 25-32K 的低温冷却器运行可选择氦,以及对于 65-95K 的低温冷却器运行可选择氮。冷凝器板 84 和蒸发器板 88 优选由诸如铜的高导热性材料制成,并且具有高导热率。

[0027] 图 3 示出在正常的冷却运行期间热链接 76 的热力学循环的运行。低温冷却器 74 使冷凝器板 84 保持在低于蒸发器板 88 的温度并且低于工作流体 90 的冷凝温度的温度。冷凝器板 84 靠重力设置在蒸发器板 88 上方。当作为冷凝液的工作流体 90 或者液体 94 与温度高于工作流体 90 的沸点温度的蒸发器板 84 相接触时,会出现流体蒸发 92。这样,工作流体 90 转变成蒸汽,或气态 96。气态 96 形式的工作流体 90 与冷凝器板 84 相接触。

[0028] 由于端板 84 保持在低于蒸发器板 88 的温度并且低于工作流体 90 的冷凝温度的温度,因此气态 96 形式的流体在冷凝器板 84 上冷凝成液体 94。靠重力设置在蒸发器板 88 上的液体 94 沿外壳 80 向下流动 98 并回到蒸发器板 88。液体 94 可另外从冷凝器板 84 滴到蒸发器板 88 上。

[0029] 以上描述的热力学循环工作在低导热性外壳 80 内,其中在正常的低温冷却器 74 运行期间,工作流体 90 的连续块流从蒸发器板 88 循环至冷凝器板 84,并再返回。通过从液体 94 经前述热力学循环变成气态 96 的工作流体 90,需要能量来克服分子吸引力,以在流体蒸发 92 期间经历向气态 96 的改变。使工作流体 90 在恒温下从液体 94 向气态 96 改变并再返回所需要的能量的量称为汽化潜热。这样,工作流体 90 用作有效热传递介质,其中在超导磁体系统 10 的正常运行期间,来自冷块 72 的能量借助低温冷却器 74 的操作通过热链接 76 被抽取。

[0030] 参照图 3 描述的热力学循环的运行可能由于低温冷却器 74 的设备故障或者使其脱离使用以进行定期维护或更换而被中断或停止。运行停止导致低温冷却器 74 不能使冷凝器板 84 的温度保持在工作流体 90 的冷凝温度以下。在该中断期间,热链接 76 自动使低温冷却器 74 从冷块 72 热断开,如参照图 4 所描述的。当低温冷却器 74 在停机之后启动时,低温冷却器 74 驱动冷凝器板 84 的温度至工作流体 90 的冷凝温度以下的温度,此时,上述热力学循环将自动重新开始,且通过低温冷却器 74 和冷块 72 之间的相变热传递的热连接将再次建立。

[0031] 现在参见图 4,一旦低温冷却器 74 运动停止,则冷凝器板 84 的温度上升到蒸发器板 88 的温度以上的温度。这种与正常运行反向的温度将会使上述热力学循环停止,并且相变热传递将会基本上终止。因此,蒸发器板 88 将追随冷块 72 的温度且冷凝器板 84 将趋于升温至室温。

[0032] 工作流体 90 的温度将在低导热性外壳 80 内分层,且工作流体 90 在蒸发器板 88 处最冷,并且朝向冷凝器板 84 温度增加。这样,由于相变热传递终止,冷凝器板 84 和蒸发器板 88 之间的热传递将会减少。热传递将会被限制在穿过气态容积 100 的传导和穿过低导热性外壳 80 的传导的平行路径。由于气态容积 100 的低热传导性和低导热性外壳 80 的低导热率,热链接 76 中的热传递将基本上终止,且低温冷却器 74 和冷块 72 将基本上热断开。以这种方式,由于热量从未运行的低温冷却器 74 向冷块 72 传递,因此允许磁体组件 52 在超导温度下工作的不间断运行的 (ride-through) 时间将不会降低。本领域技术人员将会意识到,上述热链接 76 的运行是自动的且是在没有运动机械部件的情况下发生的。

[0033] 本发明提供低温冷却器从冷块设备的自动热断开。当低温冷却器的运行停止时,

热链接内的相变热传递停止,基本上最小化了热传递并在不间断运行的时间期间使磁体能够继续运行。通过合适的设计选择低导热性外壳和工作流体能够减少由于不在计划内的低温冷却器的停用而导致的超导磁体作用丧失( quench) 的数量。此外,超导磁体系统能够维持短的持续时间,在其期间由于计划的低温冷却器维护或维修而出现低温冷却器的损耗。

[0034] 因此,低温冷却器热链接包括设置成热连接至低温冷却器的第一端板和设置成热连接到冷块的第二端板。一个壁包围第一和第二端板之间的空间且具有附着到第一端板上的第一端和附着到第二端板上的第二端。低温冷却器热链接还包括位于该空间内的工作流体。

[0035] 本发明还涉及一种 MRI 系统,该系统包括超导磁体组件冷块、低温冷却器和位于冷块与低温冷却器之间的热开关。该热开关包括与低温冷却器热接触的第一端板和与冷块热接触的第二端板。一个壁连接至第一端板和第二端板,形成外壳。工作流体容纳在该外壳内并且与第一端板和第二端板热接触。

[0036] 本发明还涉及具有第一端板的低温冷却器和具有第二端板的冷块之间的热传递控制方法。该方法包括以下步骤:在第一端板和第二端板之间形成外壳,靠重力在第二端板之上定向第一端板,以及用工作流体填充外壳。工作流体与第一端板和第二端板热接触。

[0037] 本发明已关于优选实施例进行了描述,应当意识到,这些表达性叙述以外的等同物、替换和修改都是可能的且落入所附权利要求的范围内。

[0038] 附图标记列表:

- [0039] 10 MR 系统
- [0040] 12 操作者控制台
- [0041] 13 键盘或其它输入装置
- [0042] 14 控制面板
- [0043] 16 显示屏
- [0044] 18 链接
- [0045] 20 独立计算机系统
- [0046] 20a 底板
- [0047] 22 图像处理模块
- [0048] 24 CPU 模块
- [0049] 26 存储器模块
- [0050] 28 磁盘存储器
- [0051] 30 可移动存储器
- [0052] 32 独立系统控制
- [0053] 32a 底板
- [0054] 34 高速串行链路
- [0055] 36 CPU 模块
- [0056] 38 脉冲发生器模块
- [0057] 40 串行链路
- [0058] 42 梯度放大器组
- [0059] 44 生理采集控制器

[0060]	46	扫描室接口电路
[0061]	48	患者定位系统
[0062]	50	通常指定的梯度线圈组件
[0063]	52	磁体组件
[0064]	54	极化磁体
[0065]	56	整体 RF 线圈
[0066]	58	收发器模块
[0067]	60	RF 放大器
[0068]	62	发射 / 接收开关
[0069]	64	前置放大器
[0070]	66	存储器模块
[0071]	68	阵列处理器
[0072]	70	冷却系统
[0073]	72	冷块
[0074]	74	低温冷却器
[0075]	76	热链接
[0076]	78	热汇流条
[0077]	80	低导热性外壳
[0078]	82	第一端
[0079]	84	冷凝器板
[0080]	86	第二端
[0081]	88	蒸发器板
[0082]	90	工作流体
[0083]	92	流体蒸发
[0084]	94	液体
[0085]	96	蒸汽
[0086]	98	流动
[0087]	100	气态容积



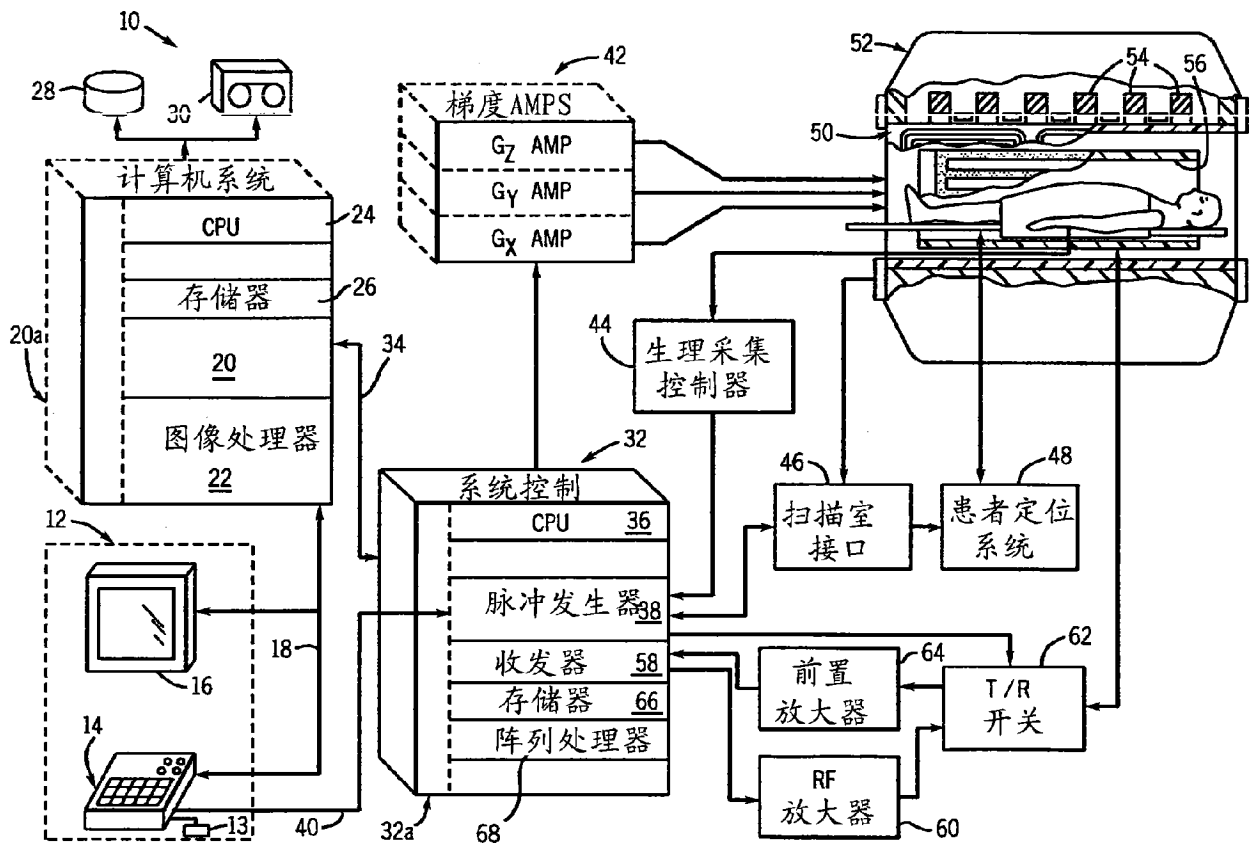


图 1

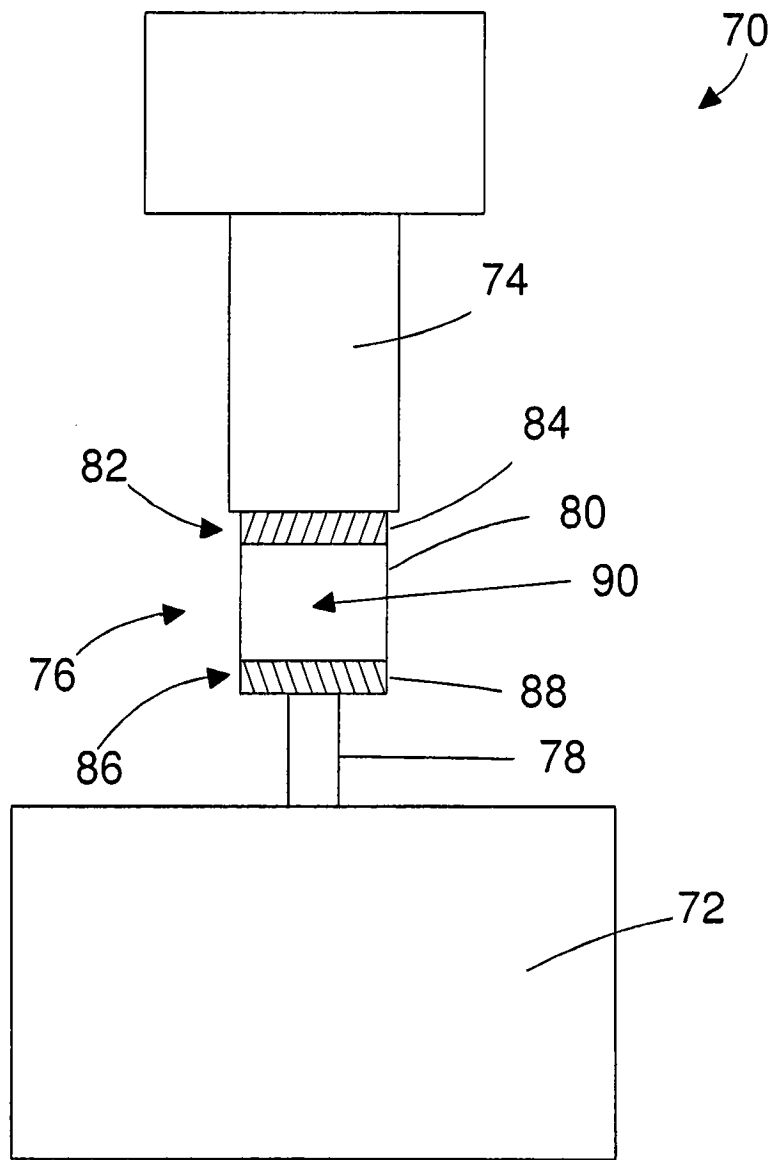


图 2

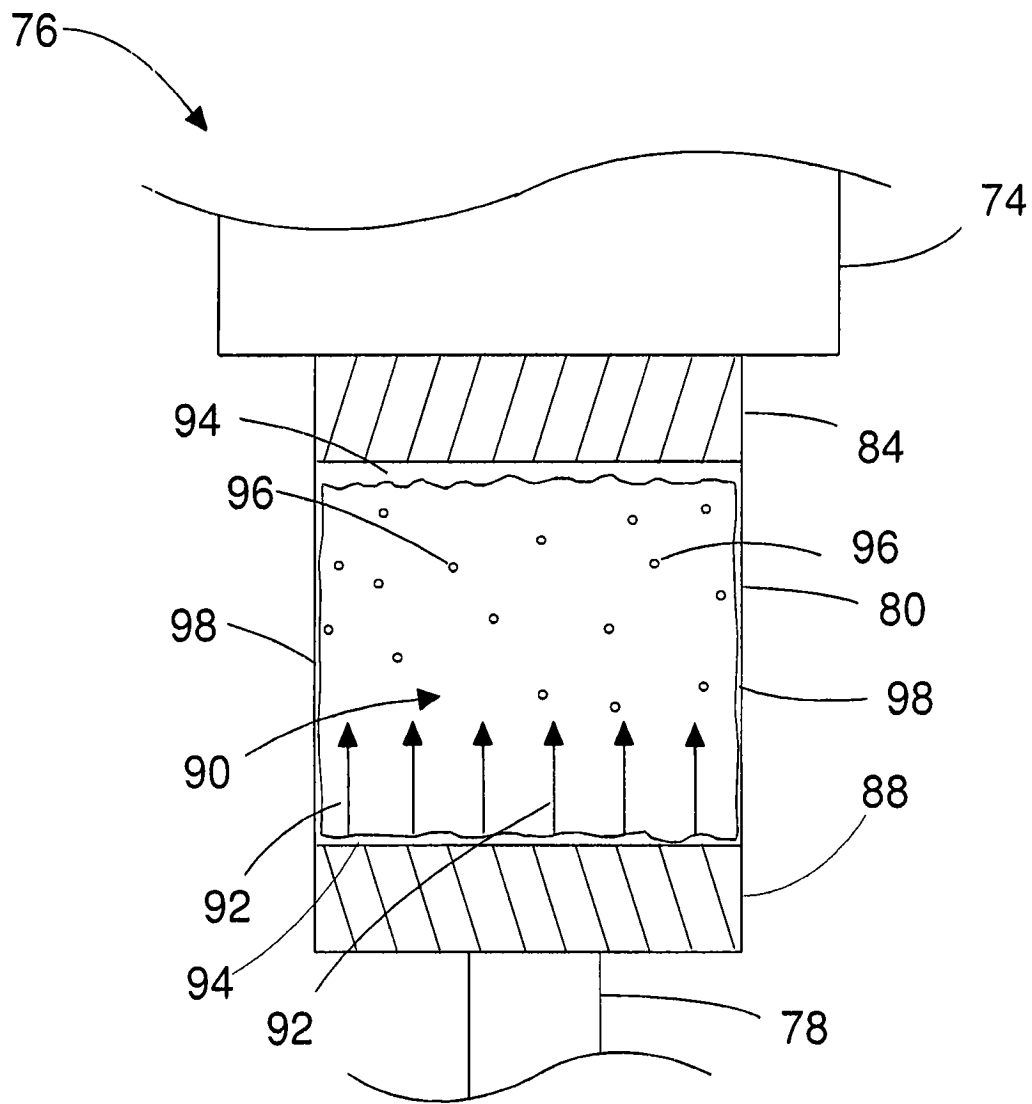


图 3

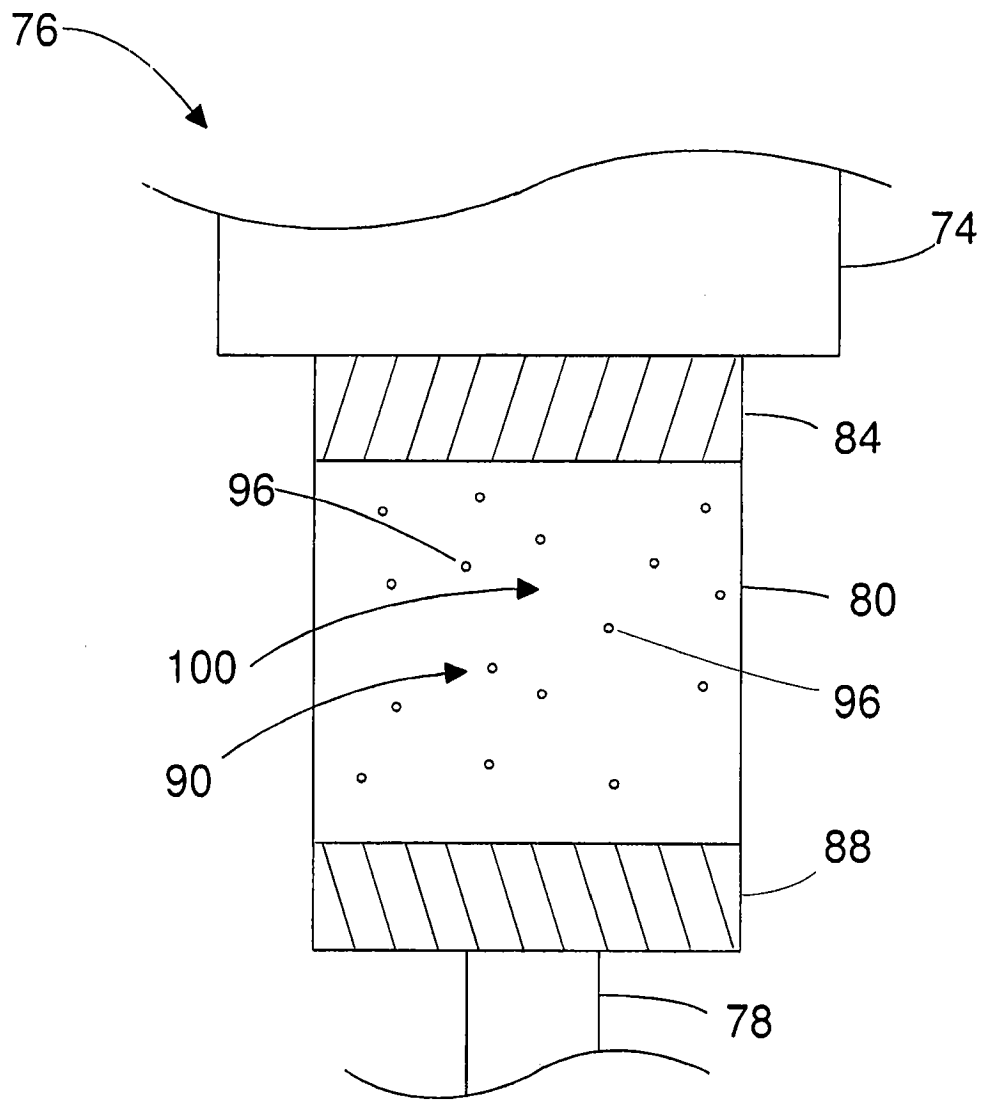


图 4