



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107110927 B

(45)授权公告日 2020.03.03

(21)申请号 201580067499.0

(22)申请日 2015.12.01

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107110927 A

(43)申请公布日 2017.08.29

(30)优先权数据  
62/091,175 2014.12.12 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.06.12

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/IB2015/059233 2015.12.01

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02016/092417 EN 2016.06.16

(73)专利权人 皇家飞利浦有限公司  
地址 荷兰艾恩德霍芬

(72)发明人 P·A·约纳斯 M·福斯  
P·A·门特乌尔

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002

代理人 蔡洪贵

(51)Int.Cl.  
G01R 33/38(2006.01)  
H01F 6/04(2006.01)

(56)对比文件  
CN 105453197 A, 2016.03.30,  
CN 104884967 A, 2015.09.02,  
WO 2007041532 A2, 2007.04.12,  
WO 0196020 A1, 2001.12.20,  
CN 101796597 A, 2010.08.04,

审查员 马丽

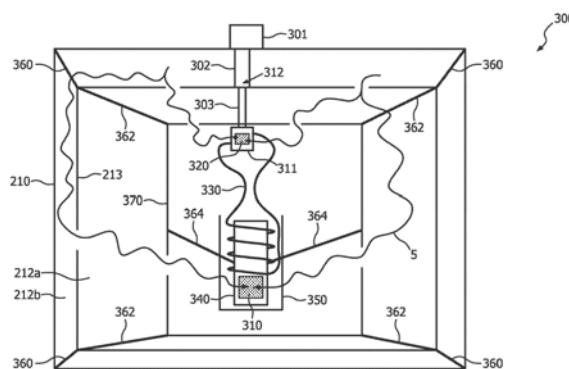
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

### (54)发明名称

用于在失冷情况下保持超导磁体系统中的真空的系统和方法

### (57)摘要

一种装置包括：设置在真空室(201)内以吸收真空室内的离散分子的吸气剂(310)；被设置成邻近于该吸气剂并且与该吸气剂热连通的蓄热体(340)；在真空室内设置在蓄热体的上方的冷却站(312)；以及对流冷却回路(310)，其被连接在蓄热体和冷却站之间并且被构造成当冷却站与蓄热体相比处于较低温度时，以对流的方式冷却蓄热体，并且当冷却站与蓄热体相比处于较高温度时，使蓄热体与冷却站基本上热绝缘。该蓄热体可以是人造冰，并且可通过低损耗支承连杆(360、362、364)和/或热反射罩与真空室的壁热绝缘。



1. 一种用于保持真空的装置(100、200、300),包括:

真空室(210);

第一吸气剂(310),所述第一吸气剂设置在所述真空室内并且被构造成吸收所述真空室内的离散分子;

蓄热体(340),所述蓄热体被邻近于所述第一吸气剂设置并且与所述第一吸气剂热连通;

冷却站(311),所述冷却站在所述真空室内被设置于比设置所述蓄热体的高度高的高度处;和

对流冷却回路(330),所述对流冷却回路被连接在所述蓄热体和所述冷却站之间并且被构造成当所述冷却站与所述蓄热体相比处于更低温度时,以对流的方式冷却所述蓄热体,并且当所述冷却站与所述蓄热体相比处于更高温度时,使所述蓄热体与所述冷却站基本上热绝缘。

2. 如权利要求1所述的装置,其中,所述蓄热体包括由人造冰构成的蓄热体。

3. 如权利要求1所述的装置,其中,所述冷却站是4°K冷却站。

4. 如权利要求3所述的装置,其中,所述装置还包括:

隔热罩(213),所述隔热罩被设置在所述真空室内,从而将所述真空室划分成内部区域(212a)和外部区域(212b);和

多个第一低导热性支承元件(360),所述多个第一低导热性支承元件将所述隔热罩连接到所述真空室的一个或多个外壁,

其中,除了所述第一低导热性支承元件之外,所述隔热罩与所述真空室的所述外壁隔离。

5. 如权利要求4所述的装置,其中,所述装置还包括:

设置在所述真空室的内部区域内的独立结构(370);和

将所述独立结构连接到所述隔热罩的多个第二低导热性支承元件(362),

其中,除了所述第二低导热性支承元件之外,所述独立结构与所述隔热罩隔离。

6. 如权利要求5所述的装置,其中,所述装置还包括多个第三低导热性支承元件(364),所述多个第三低导热性支承元件将所述蓄热体连接到所述独立结构,

其中,除了所述第三低导热性支承元件之外,所述蓄热体与所述独立结构隔离。

7. 如权利要求4所述的装置,其中,所述装置还包括热反射结构(350),所述热反射结构设置在介于所述蓄热体和所述隔热罩之间的第一区域内。

8. 如权利要求1所述的装置,其中,所述第一吸气剂包含活性炭物质。

9. 如权利要求1所述的装置,其中,所述装置还包括第二吸气剂,所述第二吸气剂与所述第一吸气剂隔离并且与所述第一吸气剂间隔开,并且邻近于所述冷却站设置并与所述冷却站热连通。

10. 如权利要求1所述的装置,其中,所述装置还包括压缩机(270),所述压缩机设置在所述真空室的外侧并且被连接到所述冷却站,并且被构造成将热量从所述冷却站传导到所述真空室的外部。

11. 如权利要求4所述的装置,其中,所述装置还包括:

设置在所述真空室的所述内部区域内的超导磁体(102);

低温冷却机(301),所述低温冷却机被构造成对所述超导磁体进行冷却,所述低温冷却机在所述真空室的所述内部区域内提供至少一个冷却站。

12.如权利要求11所述的装置,其中,所述装置是磁共振成像装置,所述磁共振成像装置还包括:

被构造成用以保持患者(10)的患者台(104);

梯度线圈(106),所述梯度线圈被构造成至少部分地环绕患者的所述磁共振成像装置为其产生图像的一部分;

射频线圈(108),所述射频线圈被构造成将射频信号施加到患者的所述一部分,以及改变磁场的取向;以及

扫描器,所述扫描器被构造成用以检测由所述射频信号引起的所述磁场的变化。

13.一种用于保持真空的方法(400),包括:

在真空室(210)内将蓄热体(340)设置成邻近吸气剂(310)并且与所述吸气剂热连通,以从所述吸气剂吸收热量;

利用在所述真空室内与设置所述蓄热体的高度相比更高的位置处设置的冷却站(311)对所述蓄热体进行冷却,所述蓄热体又对所述吸气剂进行冷却,其中,所述冷却经由连接在所述蓄热体和所述冷却站(311)之间的对流冷却回路(330)实施;和

利用冷却后的所述吸气剂(430)吸收所述真空室内的离散分子,

其中,当所述冷却站与所述蓄热体相比处于更高温度时,所述对流冷却回路使所述蓄热体与所述冷却站基本上热绝缘。

14.如权利要求13所述的方法,其中,所述方法还包括将所述吸气剂冷却到低于20°K的温度。

15.如权利要求13所述的方法,其中,所述方法还包括通过多个低导热性支承元件(450)使所述蓄热体与所述真空室的外壁热绝缘。

## 用于在失冷情况下保持超导磁体系统中的真空的系统和方法

### 技术领域

[0001] 本发明主要涉及一种用于在布设有超导磁体系统的低温环境的失冷情况下,保持超导磁体系统中的真空的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 超导磁体用在包括核磁共振(NMR)分析和磁共振成像(MRI)的多种环境中。为了实现超导性,磁体被保持在温度接近绝对零度的低温环境中。通常,磁体包括一个或多个导电线圈,这些线圈被设置在低温恒温器中并且电流循环通过这些线圈以产生磁场。

[0003] 存在多种方法以将超导磁体的一个或多个导电线圈保持处于低温,使得它们在正常运行期间保持超导。

[0004] 在一些超导磁体系统(例如,称为“低温系统”)中,磁体被保持处于真空空间中,并且通过充满相对少量的低温流体(例如,一或二升液氮)的密封系统(例如,冷却站或冷却板)进行冷却,以将热量从导电线圈传导到冷头,该冷头又被经由压缩机进行冷却。

[0005] 在这种系统中,有益的是,在真空空间内设置吸气器,该吸气器被保持处于非常低的温度(例如,低于20°K),以便吸收可能被释放到真空空间中的离散分子,如此一来,离散分子可变成用于传热的机构。特别是,随着时间的流逝,吸气器材料聚集了可从非常小的渗漏处进入真空空间中的气体分子。

[0006] 然而,可能的是,冷头例如由于压缩机的故障或者由于用于操作压缩机的交流主电源的损耗而导致变得不起作用,从而使超导磁体系统的冷却中断。这种冷却中断会在运输、断电或设备故障期间发生。在这些情况下,在低温下具有小热容量的超导磁体系统(例如,在密封系统内部仅具有少量液氮的低温系统)可能迅速变暖超过20°K。

[0007] 同时,如果使吸气器变热,则已由吸气器捕获到的离散分子可能被释放到保持该超导磁体的真空室或低温恒温器中。如果这种情况发生,则可能需要低温恒温器的昂贵且耗时的真空泵来移除所释放的分子。

[0008] 因此,会需要提供一种用于在布设有超导磁体系统的低温环境的失冷情况下,保持超导磁体系统中的真空的系统和方法。

### 发明内容

[0009] 本发明的一方面可提供了一种装置,该装置包括:第一吸气剂,其被设置在真空室内并且被构造成吸收真空室内的离散分子;蓄热体,其被设置成邻近第一吸气剂并且与第一吸气剂热连通;冷却站,其在真空室内设置于比设置蓄热体的高度高的高度处;以及对流冷却回路,其被连接在蓄热体和冷却站之间并且被构造成当冷却站与蓄热体相比处于较低温度时,以对流的方式冷却蓄热体,并且当冷却站与蓄热体相比处于较高温度时,使蓄热体与冷却站基本上热绝缘。

[0010] 在一些实施例中,蓄热体包括由人造冰构成的蓄热体。

[0011] 在一些实施例中,冷却站是4°K冷却站。

[0012] 在一些实施例中,该装置还包括:隔热罩,其被设置在真空室内,从而将真空室划分成内部区域和外部区域;和多个第一低导热性支承元件,其将隔热罩连接到真空室的一个或多个外壁,其中,除了第一低导热性支承元件之外,隔热罩与真空室的外壁隔离开。

[0013] 在一些实施例中,该装置还包括:设置在真空室的内部区域内的独立结构;和将该独立结构连接到隔热罩的多个第二低导热性支承元件,其中,除了第二低导热性支承元件之外,独立结构与隔热罩隔离开。

[0014] 在一些实施例中,该装置还包括多个第三低导热性支承元件,其将蓄热体连接到独立结构,其中,除了第三低导热性支承元件之外,蓄热体与独立结构隔离开。

[0015] 在一些实施例中,该装置还包括设置在介于蓄热体和隔热罩之间的第一区域内的热反射结构。

[0016] 在一些实施例中,第一吸气剂包括活性炭物质。

[0017] 在一些实施例中,该装置可还包括第二吸气剂,其与第一吸气剂隔离开并与其间隔开,并且被设置成邻近冷却站并且与该冷却站热连通。

[0018] 在一些实施例中,该装置还包括压缩机,其被设置在真空室的外侧并且被连接到冷却站,并且被构造成将热量从冷却站传导到真空室的外部。

[0019] 本发明的另一方面可提供一种装置,该装置包括:真空室,其具有封闭真空室的内部空间的一个或多个壁;设置在真空室内的隔热罩,该隔热罩限定真空室的位于隔热罩内的内部区域以及真空室的被设置在隔热罩和真空室的一个或多个壁之间的外部区域;设置在真空室的内部区域内的超导磁体;低温冷却机,其被构造成用以冷却超导磁体,该低温冷却机在真空室的内部区域内设置至少一个冷却站;吸气剂,其设置在真空室的内部区域内并且被构造成用以吸收真空室内的离散分子;蓄热体,其被设置成邻近吸气剂并且与该吸气剂热连通,其中,蓄热体设置于与设置至少一个冷却站的高度相比更低更高的位置处;和对流冷却回路,其被连接在蓄热体和冷却站之间并且被构造成当冷却站与蓄热体相比处于较低温度时,对流地冷却蓄热体,并且当冷却站与蓄热体相比处于较高温度时,使蓄热体与冷却站基本上热绝缘。

[0020] 在一些实施例中,该装置可以是磁共振成像(MRI)装置,其还包括:被构造成用于保持患者的患者台;梯度线圈,其被构造成至少部分地环绕患者的MRI装置为其产生图像的一部分;射频线圈,其被构造成将射频信号施加到患者的该部分上,以及改变此磁场的取向;和被构造成用于检测由射频信号引起的磁场变化的扫描器。

[0021] 在一些实施例中,该装置还包括:被连接以从低温冷却机移除热量的压缩机;和磁体控制器,其被构造成控制超导磁体的通电运行。

[0022] 在一些实施例中,蓄热体包括由人造冰构成的蓄热体。

[0023] 在一些实施例中,该装置还包括:多个第一低导热性支承元件,其将隔热罩连接到真空室的一个或多个外壁,其中,除了第一低导热性支承元件之外,隔热罩与真空室的外壁隔离开。

[0024] 在一些实施例中,该装置还包括:设置在真空室的内部区域内的独立结构;和将独立结构连接到隔热罩的多个第二低导热性支承元件,其中,除第二低导热性支承元件之外,独立结构与隔热罩隔离开。

[0025] 在一些实施例中,该装置还包括:将蓄热体连接到独立结构的多个第三低导热性

支承元件,其中,除了第三低导热性支承元件之外,蓄热体与独立结构隔离开。

[0026] 本发明的又一方面可提供一种方法,其包括:在真空室内将蓄热体设置成邻近于吸气剂并且与该吸气剂热连通,以从吸气剂吸收热量;利用设置在真空室内的冷却站冷却蓄热体,该冷却站在真空室内被设置于比设置蓄热体的高度高的高度处,其中,该蓄热体又对吸气剂进行冷却,其中,冷却经由连接在蓄热体和冷却站之间的对流冷却回路实施;利用冷却后的吸气剂来吸收真空室内的离散分子,其中,当冷却站与蓄热体相比处于较高温度时,对流冷却回路使蓄热体与冷却站热绝缘。

[0027] 在一些实施例中,该方法可还包括将吸气剂冷却到低于20°K的温度。

[0028] 在一些实施例中,该方法可还包括通过多个低导热性支承元件,使蓄热体与真空室的外壁热绝缘。

[0029] 附图简述

[0030] 本发明将通过对于下文中呈现的示例性实施例的结合附图作出的详细描述而变得更容易理解。

[0031] 图1示出了磁共振成像(MRI)装置的示例性实施例。

[0032] 图2示出了可被包括在MRI装置中的超导磁体系统的示例性实施例。

[0033] 图3示出了可在可被包括在MRI装置中的超导磁体系统中使用的吸气器的冷却布置结构的示例性实施例。

[0034] 图4示出了当冷却被中断时,保持超导磁体系统中的真空的方法的一些示例单元。

## 具体实施方式

[0035] 现在将结合附图在下文中更为充分地描述本发明,在附图中示出了本发明的多个实施例。然而,本发明可以不同的形式体现,并且不应被理解为受限于本文中所阐述的实施例。相反,这些实施例被作为本发明的教导示例提供。在本公开和权利要求书的范围内,当某物被说成是具有大致为某个值时,这意味着它处于该值的10%的范围内,并且当某物被说成是具有大约为某个值时,这意味着它处于该值的25%的范围内。

[0036] 图1示出了磁共振成像(MRI)装置100的示例性实施例。MRI装置100可包括磁体102;被构造成保持患者10的患者台104;被构造成至少部分地环绕患者10的MRI装置100为其产生图像的至少一部分的梯度线圈106;被构造成将射频信号施加到正被成像的患者10的至少一部分并且改变磁场的取向(alignment)的射频线圈108;和被构造成检测由射频信号引起的磁场变化的扫描器110。

[0037] MRI装置的常规运行是众所周知的,并且因此在这里将不再重复。

[0038] 图2示出了可被包括在MRI装置中的超导磁体系统200的示例性实施例。特别地,超导磁体系统200可以是MRI装置100中的磁体102的一个实施例。此外,超导磁体系统200可以是超导磁体系统的一个示例,可以为该超导磁体系统提供如下所述的用于在布设有超导磁体系统的低温环境的失冷情况下保持真空的系统和方法。这种系统和方法的示例将在下文更为详细地进行描述。

[0039] 超导磁体系统200包括低温恒温器210和设置在封闭空间内的隔热罩213,该封闭空间由低温恒温器210的外壁或外壳所限定。隔热罩213限定了第一内部热绝缘区域212a(在下文中“内部区域212a”)和第二外部热绝缘区域212b(在下文中“外部区域212b”),这两

个区域中的每一个可以是真空空间 (evacuated space), 在那里, 已经移除了任何气体、液体等, 该空间除了被导电导线和其它部件所占据的区域之外都由真空构成, 如下所述。因此, 低温恒温器210可被视为真空室。

[0040] 超导磁体系统200包括被形成为放置在低温恒温器210的内部区域212a内的一个或多个导电线圈230和持久电流开关240的超导磁体。超导磁体系统200还包括: 低温冷却机, 其包括冷头301 (具有第一冷却级302和第二冷却级303), 该冷头由压缩机270驱动以冷却低温恒温器210; 和磁体控制器280, 其被构造成控制超导磁体 (即, 导电线圈230) 的通电运行。

[0041] 超导磁体系统200还包括第一导电导线201和第二导电导线202、第三导电导线203和第四导电导线204、第五导电导线205和第六导电导线206及第七导电导线207和第八导电导线208。

[0042] 超导磁体系统200是“低温 (cryofree)”系统或密封系统, 其中, 低温恒温器210并未设置用以向其增加低温物质 (例如, 液氮) 的装置。因此, 超导磁体系统200包括冷却板260, 该冷却板被连接到冷头301并且通过冷头301进行冷却。有利地, 冷却板260可以是充满诸如液氮之类的低温流体并且可使该低温流体循环的封闭系统。反过来, 冷却板260将导电线圈230冷却到诸如约4°K之类的温度, 在这种情况下, 导电线圈230变得超导。

[0043] 因此, 在运行中, 在一些示例性实施例中, 内部区域212a的温度可为约4.2°K。此外, 隔热罩213的温度可为约40°K。在那种情况下, 如果低温恒温器210外侧的环境室温例如为300°K, 则越过由内部区域212a限定的空间的温降可处于从约4.2°K到约40°K的范围中, 并且越过由外部区域212b限定的空间的温降可处于从约40°K到约300°K的范围中。

[0044] 持久电流开关240可包括经由附接到小型加热器的第七导电导线207和第八导电导线208越过导电线圈230的相对两端联接的一段超导线。

[0045] 磁体控制器280可包括处理器和存储器, 该存储器包括非易失性存储器和易失性存储器。该非易失性存储器可存储程序代码或指令 (软件), 以致使处理器执行一个或多个算法, 来控制超导磁体系统280的运行, 例如为导电线圈230通电的过程。磁体控制器280可还被连接到开关215和225及第一导电导线202和第二导电导线204并且控制它们的运行。

[0046] 在一些实施例中, 第五导电导线205和第六导电导线206均可以是低损耗导线, 它们将少量外部热量传导到低温恒温器210的内部区域212a。有利地, 第五导电导线205和第六导电导线206均可由在相对高的温度下经历超导性的材料制成, 该相对高的温度例如为大于50°K以及特别是处于77°K或约为77°K的温度。有利地, 第三导电导线203和第四导电导线204、及第五导电导线205和第六导电导线206可被以热的方式锚固到隔热罩213。在一些实施例中, 第三导电导线203和第四导电导线204可由紫铜或黄铜制成。

[0047] 在一种变型中, 超导磁体系统200包括第一开关215和第二开关225, 它们设置在低温恒温器210中并且被构造成由磁体控制器280进行控制, 以便在导电 (超导) 线圈230的通电期间, 选择性地分别将第一导电导线201和第二导电导线202连接到第三导电导线203和第四导电导线204。

[0048] 在超导磁体系统200的另一变型中, 第一导电导线201和第二导电导线202可均是可收缩的导线, 它们在磁体控制器280的控制下是可收缩的且是可伸长的。第一导电导线201和第二导电导线202中的每一个均可被构造成在收缩位置中, 被全部设置在低温恒温器

210的外部或者基本上全部设置在其外部,并且在延伸位置中,延伸到低温恒温器210中,并且与第三导电导线203和第四导电导线204接合并且(例如,经由触点或转换开关215和225)电气连接到这些导线203和204。

[0049] 在超导磁体系统200的启动运行期间,持久电流开关240中的电线被加热超过其转变温度,使得它变得是电阻性的。磁体控制器280关闭开关235并将外部电源连接到第一导电导线201和第二导电导线202,并由此(例如,经由第五导电导线205、第六导电导线206、第七导电导线207和第八导电导线208)连接到导电线圈230。在一些实施例中,这可能意味着,磁体控制器280使第一导电导线201和第二导电导线202延伸到低温恒温器210中,以与第三导电导线203和第四导电导线204接合并(例如经由触点或转换开关215和225)电气连接到这些导线203和204。在其它实施例中,这可能意味着,磁体控制器280关闭第一开关215和第二开关225,以将第一导电导线201和第二导电导线202连接到第三导电导线203和第四导电导线204。

[0050] 导电线圈230最初由外部电源供电,该外部电源使电流通过导电线圈230。由于持久电流开关240中的电线在启动运行期间被加热,因此它的阻抗大体上大于导电线圈230的阻抗,使得来自外部电源的电流通过导电线圈230。随着导电线圈230由冷却板260冷却,导电线圈230变得超导并且由此起到超导磁体的作用。

[0051] 为了转到持久模式,对通过导电线圈230的电流进行调整,直到获得所需磁场为止,随后关闭持久电流开关240中的加热器。在将加热器关闭之后,持久电流开关240中的超导线冷却到其超导温度,从而使如上所述同样是超导的导电线圈230短路。磁体控制器280随后分别使第一导电导线201和第二导电导线202与第三导电导线203和第四导电导线204断开连接,并且使外部电源与导电线圈230断开连接。在一些实施例中,这可能意味着,磁体280从低温恒温器210缩回第一导电导线201和第二导电导线202,以便与第三导电导线203和第四导电导线204断开接合及断开电气连接。在其它实施例中,这可能意味着,磁体控制器280打开第一开关215和第二开关225,以使第一导电导线201和第二导电导线202与第三导电导线203和第四导电导线204断开连接。此后,导电(超导)线圈230经由在冷却板260中循环的低温流体(例如,液氮)通过冷头301进行冷却。

[0052] 如上所述,离散分子可被从非常小的泄漏处释放到低温恒温器210的真空空间中。这种离散分子可变成用于传热的机构。因此,吸气器(在图2中并未示出)可设置在低温恒温器210内,并且特别是低温恒温器的内部区域212a内,该内部区域212a被保持处于非常低的温度(例如,低于20°K),以便吸收那些离散分子。然而,如果允许例如由于压缩机270的故障或由于交流主电源的损耗或由于其它原因导致对吸气器进行加热,则已由吸气器捕获到的离散分子可被释放到低温恒温器210中,这会加热超导线圈230并且导致磁场的淬熄(quench)。如果这种情况发生,则启动程序可能必须被重复进行。另外,可能需要低温恒温器的昂贵而耗时的真空泵从低温恒温器210中移除所释放的分子。

[0053] 因此,已经研展了一种用于在失冷的情况下在诸如超导磁体系统200之类的超导磁体系统的低温恒温器中保持真空的系统和方法。这种系统和方法的示例将参照图3和图4进行描述。

[0054] 图3示出了可在可被包括在MRI装置中的超导磁体系统中使用的用于吸气器的冷却布置结构300的示例性实施例。特别地,布置结构300可被包括在超导磁体系统200中,并

且可被包括在MRI装置100中。

[0055] 图3示出了真空室/低温恒温器210、隔热罩213、内部区域212a、外部区域212b和冷头301(包括第一级302和第二级303),同样如图2中所示。图3还示出了:由冷头301提供的第一冷却站311和第二冷却站312;第一吸气剂310和第二吸气剂320;对流冷却回路330;蓄热体340;热反射结构350;多个第一低导热性支承元件360;多个第二低导热性支承元件362;多个第三低导热性支承元件364;和低温室370。

[0056] 第一冷却站311、第一吸气剂310和第二吸气剂320、对流冷却回路330、蓄热体340、热反射结构350、第二低导热性支承元件362、第三低导热性支承元件364和低温室370都设置在内部区域212a内。在运行中,内部区域212a可被保持处于低于20°K的温度;在一些实施例中,处于约4.2°K的温度。在这种情况下,第一冷却站311可被称为4°K冷却站。第二冷却站312和第一低导热性支承元件360被设置在外部区域212b内。在运行中,内部区域212b可被保持处于低于70°K的温度;在一些实施例中,处于约40°K的温度。在这种情况下,第二冷却站312可被称为40°K冷却站。此外,低温室370可被称为4°K室。

[0057] 在一些实施例中,对流冷却回路330包括充满加压低温气体(例如加压氦气)的一个或多个金属(例如,不锈钢)管。对流冷却回路330被连接在蓄热体340和第一冷却站311之间。

[0058] 蓄热体340邻近于第一吸气剂310并且与第一吸气剂310热连通,以便从第一吸气剂310中吸收热量。这里,“邻近”被理解为,意指非常接近但并不必然需要直接接触。然而,在一些实施例中,蓄热体340可与第一吸气剂310直接接触。在一些实施例中,蓄热体340可被经由具有非常低的热阻抗的一些中间联接元件(例如导热垫圈、热油脂等)热连接到第一吸气剂310,这些中间联接元件可有效地热联接从第一吸气剂310到第一冷却站311的所有或几乎所有热能。有利地,蓄热体340能够从处于非常低的温度(例如,低于约20°K的温度)下的第一吸气剂310吸收相当多的热能。有利地,蓄热体340具有比第一冷却站311大得多的热容量。在一些实施例中,对于从4°K到20°K的温度变化来说,蓄热体340能够吸收至少10千焦的热能。在一些实施例中,对于从4°K到20°K的温度变化来说,蓄热体340能够吸收至少50千焦的热能。值得注意的是,第一冷却站311设置在真空室/低温恒温器310内,处于比设置蓄热体340的高度高的高度处。也就是说,第一冷却站311设置在真空室/低温恒温器310内,相对于地表位于蓄热体的上方(但并非必需位于其正上方)。

[0059] 有利地,在所示实施例中,蓄热体340另外被通过热反射结构350与超导磁体(导电线圈230)在一定程度上热绝缘,该热反射结构350被设置在介于蓄热体340和隔热罩213之间的内部区域212a中,并且部分地环绕蓄热体340。在一些实施例中,可省略掉热反射结构350。

[0060] 此外,在所示实施例中,蓄热体340被通过多个第三低导热性支承元件364连接或附接于低温室370,但与其热绝缘。有利地,除了第三低导热性支承元件364之外,蓄热体340以其它方式与低温室370隔离开。此外,低温室370被通过多个第二低导热性支承元件362连接或附接于隔热罩213,但是与其热绝缘。有利地,除第二低导热性支承元件362之外,低温室370以其它方式与隔热罩213隔离开。因此,低温室370可以是内部区域212a内的独立结构,其可起到用于蓄热体340的支承结构框架的作用。最后,隔热罩213被通过多个第一低导热性支承元件360连接或附接于真空室/低温恒温器210的一个或多个壁,但是与其热绝缘。

有利地,除了第一低导热性支承元件350之外,隔热罩213被以其它方式与真空室/低温恒温器210隔离开。

[0061] 在一些实施例中,第一低导热性支承元件360、第二低导热性支承元件362和第三低导热性支承元件364可均包括具有高机械强度和低导热性的玻璃纤维、PVC或陶器带。

[0062] 在此,当据说元件360、362和364具有“低”导热性时,所明白的是,这可由这些元件能够越过这些元件的给定温差提供的最大热能传递所限定。特别地,在一些实施例中,对于从隔热罩213处的40°K到低温恒温器310的壁处的300°K的温差,第一低导热性支承元件360可共同地支持不超过几瓦特的最大传热。在一些实施例中,处于这些状况下的最大传热可能为1瓦特或更少。同样,在一些实施例中,对于从低温室370处的4°K到隔热罩213处的40°K的温差,第二低导热性支承元件362可共同地支持不超过100毫瓦的最大传热。在一些实施例中,处于这些状况下的最大传热可以为50毫瓦或更少。最后,在一些实施例中,对于从蓄热体340处的20°K到低温室370处的80°K的温差,第三低导热性支承元件364可共同地支持至多10毫瓦的最大传热。在一些实施例中,处于这些状况下的最大传热可以为5毫瓦或更少。

[0063] 现在将提供一种说明,该说明关于图3中所示的系统或布置结构300如何在来自冷头301的冷却丧失的情况下将低温恒温器210中的真空保持延长的时期。

[0064] 在正常运行中,冷头301将第一冷却站311冷却至低温,例如约4°K。同时,对流冷却回路330对蓄热体340进行冷却,该蓄热体又对第一吸气剂310进行冷却。也就是说,当蓄热体340在低温恒温器210内被定位在比第一冷却站311低的高度处时,从蓄热体340通过对流冷却回路到第一冷却站311的热量将增加。由此,第一冷却站经由第一冷却回路330冷却第一吸气剂310。当第一吸气剂310达到足够低的温度(例如,低于20°k)时,则它吸收可能存在于低温恒温器210中的离散分子5。只要冷头301处于运行中,则它经由对流冷却回路330和蓄热体340的作用将第一吸气剂310保持处于或低于足够低的温度,。

[0065] 当冷却能力丧失时,也就是说,当冷头301不再运行一例如,由于压缩机270的故障、交流主电源的损耗、其中安装有低温恒温器210的MRI装置(例如,MRI装置100)的运输期间等等一低温恒温器210内的温度将随着超导磁体(导电线圈230)加热而开始上升。当这种情况发生时、则第一冷却站311的温度将同样开始上升。

[0066] 通常,蓄热体340具有足够大的热容量和比第一冷却站311低得多的导热性。因此,该第一冷却站311的温度将比蓄热体340的温度更快地上升。当这种情况发生,并且第一冷却站311的温度上升到比蓄热体340的温度高的温度时,对流冷却回路330将蓄热体340与第一冷却站311基本上热绝缘。对此的原因在于,对流冷却回路330经由对流传递热量,并且由此沿着热量上升的方向上传递热量。然而,由于第一冷却站311在真空室/低温恒温器310内设置在比蓄热体340设置的高度高的高度处,因此,在第一冷却站311的温度比蓄热体340的温度高的情况下,热量并不会通过对流冷却回路从第一冷却站311传递到蓄热体340。所明白的是,少得多的热量可经由对流冷却回路330的金属管或管道的传导从蓄热体340传递到冷却站311。因此在此,术语“基本上热绝缘”被理解为具有特定含义,也就是防止两个部件之间出现对流冷却,并且任何其余的热连接仅经由传导实现。

[0067] 同时,蓄热体340继续吸收来自第一吸气剂310的热量,从而使得一个时期延长,在这个时期期间,第一吸气剂310保持起作用以捕获和保持可能存在于低温恒温器210内的离

散分子。此外,热量并不会轻易地被蓄热体340从其周围吸收,这是因为它依靠第一低导热性支承元件360、第二低导热性支承元件362和第三低导热性支承元件364相对于隔热罩213的温度和真空室/低温恒温器213的壁基本上热浮动。因此,低温恒温器210内的真空可被保持延长的时期,以穿越低温冷却机并不运转时的时期。

[0068] 在一些实施例中,第一吸气剂310和第二吸气剂320可均包括活性炭。在一些实施例中,可提供第二吸气剂320以便在当蓄热体340和第一吸气剂310仍然正被冷却至工作温度(例如,低于20°K)时的时间期间捕获离散分子5。在一些实施例中,可省略掉第二吸气剂320。

[0069] 在一些实施例中,蓄热体340可包括由人造冰构成的蓄热体。人造冰是相对便宜的,并且它的焓是温度高达20°k的紫铜的焓的20倍,从而使得它是一种对于将吸气剂320的温度保持低于它在冷头301失冷的情况下开始释放捕获到的分子的温度是有利的物质。

[0070] 图4示出了当冷却被中断时,保持超导磁体系统中的真空的方法400的一些示例性单元。

[0071] 在方法400的单元410中,将蓄热体与真空室的外壁热绝缘。如上所述,在一些实施例中,这可经由多个低导热性支承元件来实现。

[0072] 在方法400的另一个单元420中,将蓄热体在真空室内设置成邻近吸气剂并且与吸气剂热连通以从第一吸气剂中吸收热量。

[0073] 在方法400的另一单元430中,设置在真空室内处于比设置蓄热体的高度高的高度处的冷却站对蓄热体进行冷却,该蓄热体又对吸气剂进行冷却。在此,冷却经由连接在蓄热体和冷却站之间的对流冷却回路来实施。

[0074] 在方法400的另一单元440中,冷却后的吸气吸收真空室内的离散分子。

[0075] 在方法400的另一单元450中,当冷却站处于比蓄热体高的温度时—例如,当对冷却站进行冷却的低温冷却机并未运行时—,该对流冷却回路将蓄热体与冷却站基本上热绝缘。因此,甚至是在不再向真空室/低温恒温器提供冷却时,该吸气剂也保持处于其正常运行所必需的低温下持续延长的时期。

[0076] 虽然在本文中公开了优选实施例,但许多变化都是可能的,这些变化都保持在本发明的概念和范围内。对于本领域技术人员而言,在审视于此的专利说明书、附图和权利要求之后,这种变化会变得清晰。因此,本发明并不受限于所附权利要求的范围内。

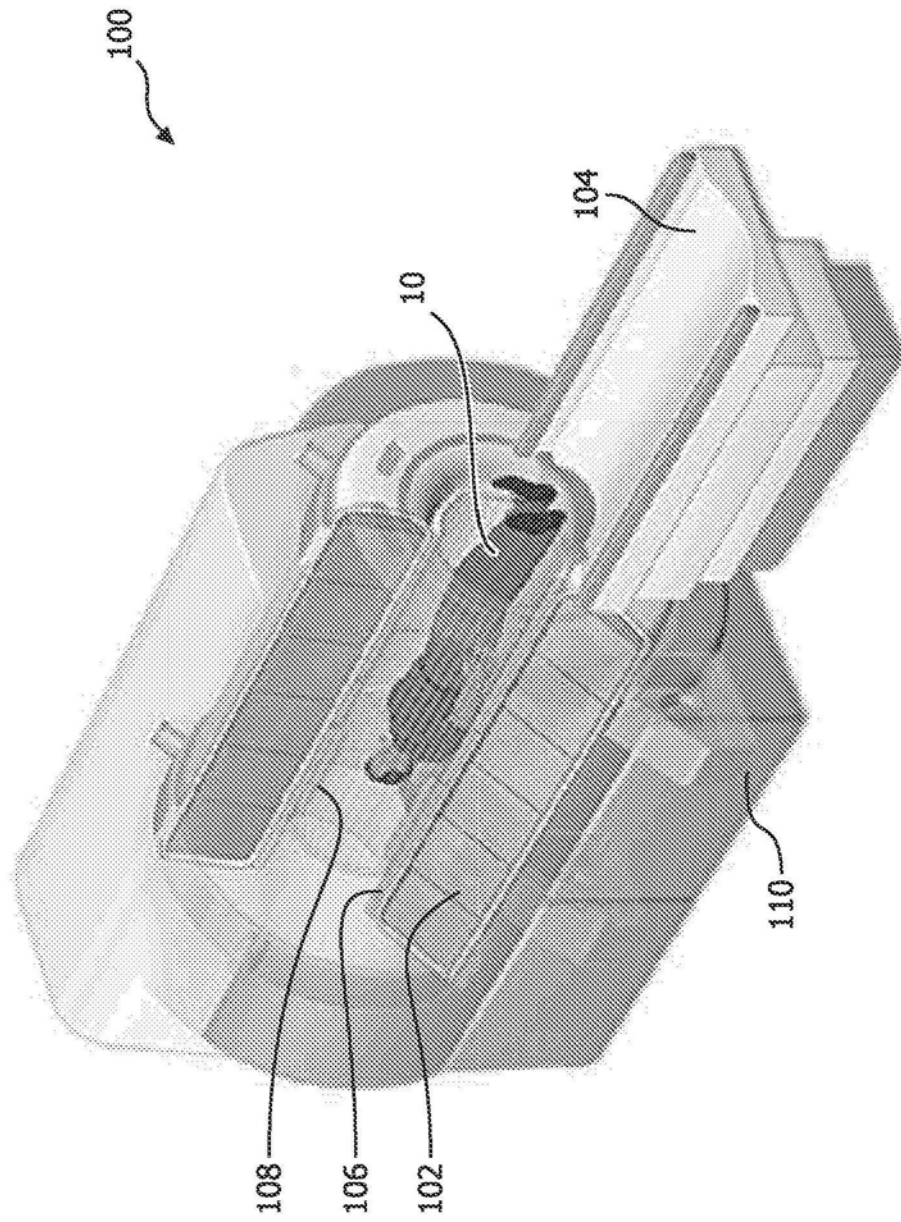


图1

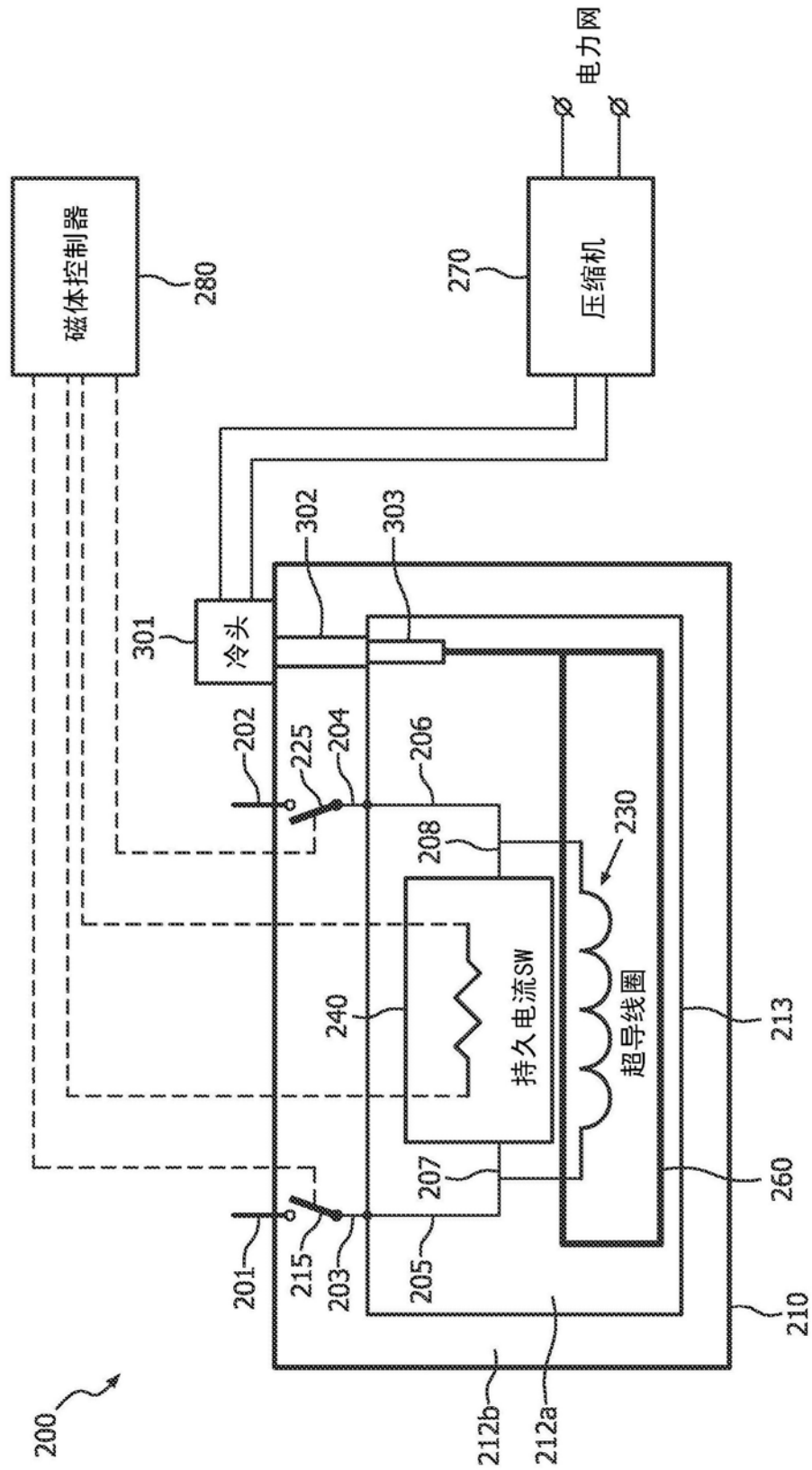


图2

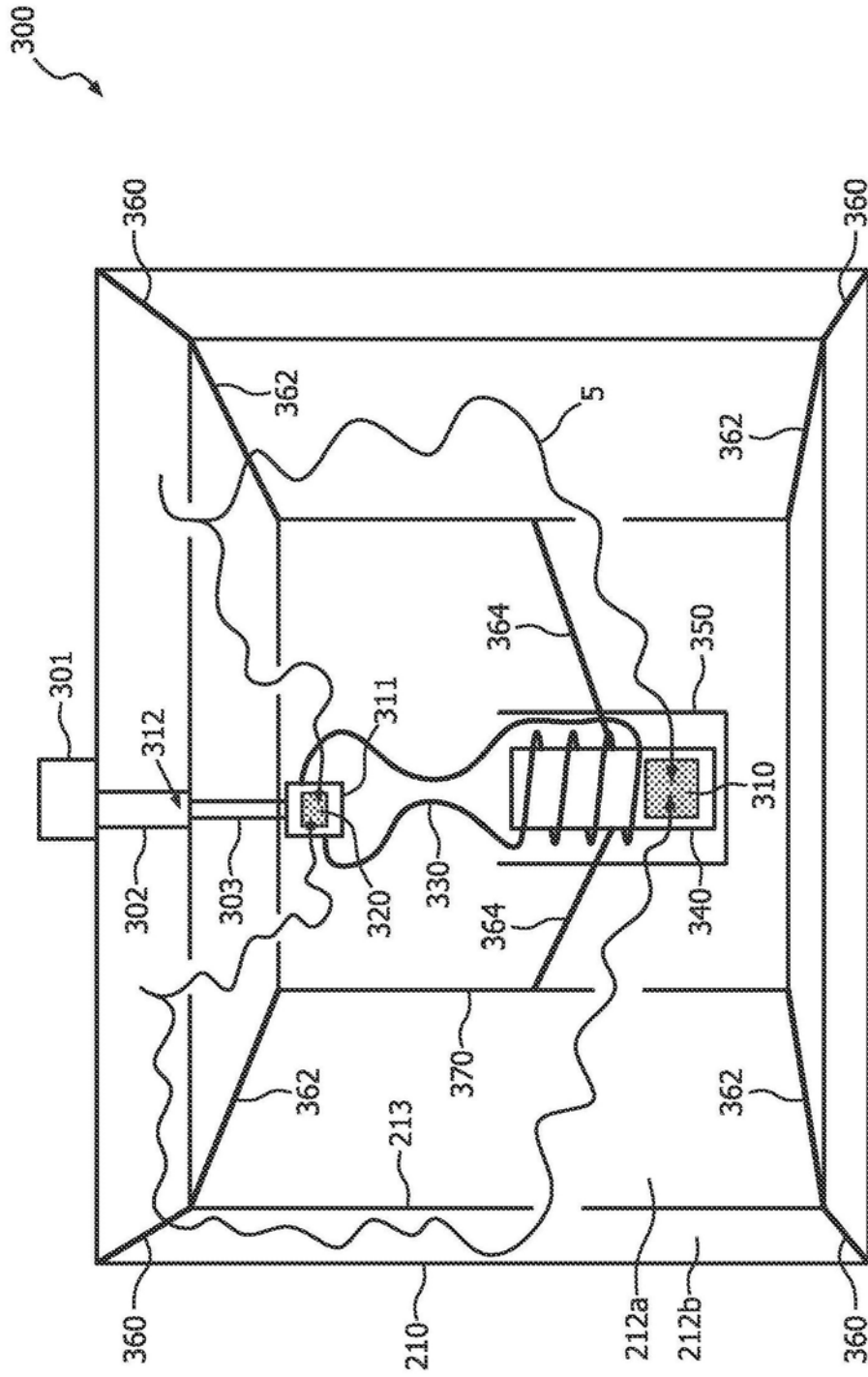


图3

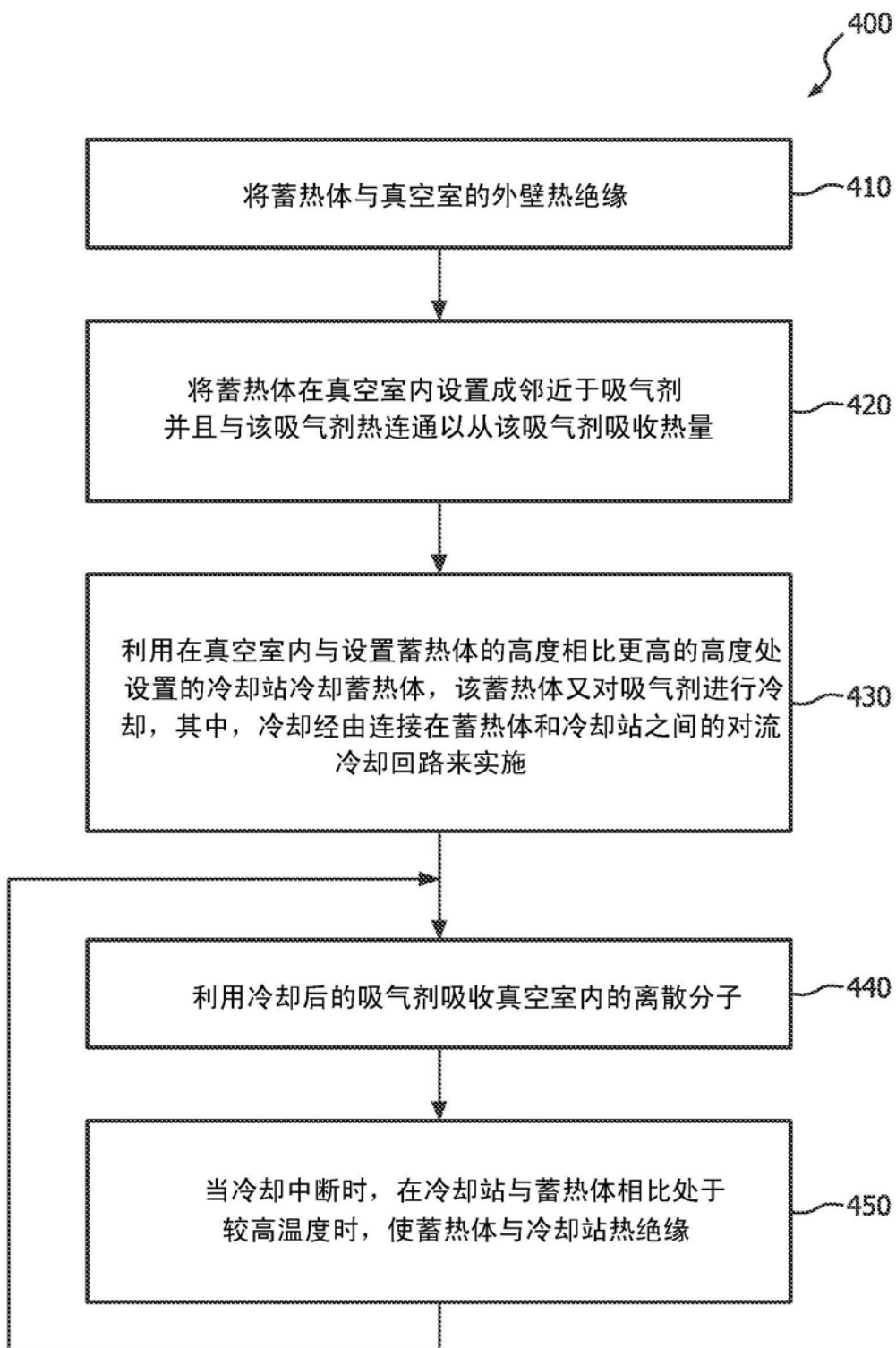


图4