



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200480008544.7

[43] 公开日 2006年5月3日

[11] 公开号 CN 1768238A

[22] 申请日 2004.3.26

[21] 申请号 200480008544.7

[30] 优先权

[32] 2003.3.28 [33] JP [31] 091376/2003

[86] 国际申请 PCT/JP2004/004253 2004.3.26

[87] 国际公布 WO2004/088217 日 2004.10.14

[85] 进入国家阶段日期 2005.9.28

[71] 申请人 独立行政法人宇宙航空研究开发机构

地址 日本东京

共同申请人 学校法人日本大学

[72] 发明人 松原洋一 杉田宽之 久志野彰宽

[74] 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司
代理人 董惠石

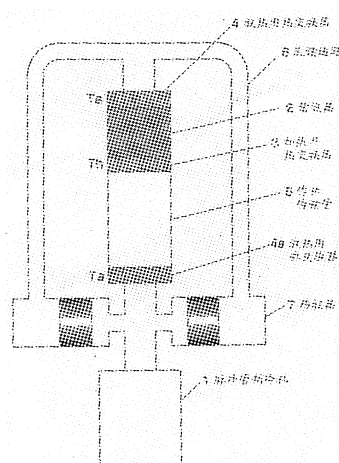
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 10 页

[54] 发明名称

脉冲管制冷机

[57] 摘要

本发明提供一种小型且没有振动与电噪声的脉冲管制冷机，脉冲管制冷机(1)具有：脉冲管；与脉冲管低温侧连接的蓄冷器；与蓄冷器高温侧连接的振动发生装置；与脉冲管高温侧连接的带节流阀的贮存器。振动发生装置是具有热驱动管(放热用热交换器(4)~放热用热交换器(4a))、移相器(7)及反馈通路(6)的热驱动压力波发生装置。通过充分加热加热用热交换器(3)，在作功传输管(5)内产生自激振动，通过在作功传输管(5)的作功输出侧设置的移相器(7)和反馈通路(6)，返回热驱动管。作功在热驱动管放大后，从作功传输管(5)输出，并供给脉冲管制冷机(1)。从而能够构成小型且没有振动与噪声的脉冲管制冷机用振动发生装置。



1. 一种脉冲管制冷机，具有：脉冲管；与所述脉冲管低温侧连接的蓄冷器；与所述蓄冷器高温侧连接的振动发生装置；与所述脉冲管高温侧连接的带节流阀的贮存器，其特征在于，

所述振动发生装置是热驱动压力波发生装置，该热驱动压力波发生装置具有：由蓄热器、加热用热交换器、放热用热交换器及做功传输管构成的热驱动管；一端连接在所述热驱动管输出端上的移相器；以及将所述移相器的另一端与所述热驱动管的输入端连接在一起的反馈通路。

2. 一种脉冲管制冷机，具有：脉冲管；与所述脉冲管低温侧连接的蓄冷器；与所述蓄冷器高温侧连接的振动发生装置；与所述脉冲管高温侧连接的带节流阀的贮存器，其特征在于，

所述振动发生装置是热驱动压力波发生装置，该热驱动压力波发生装置具有：热驱动管，其由蓄热器、加热用热交换器、放热用热交换器及高温缓冲器构成；共振器，连接在所述热驱动管的低温部端上。

3. 一种脉冲管制冷机，具有：脉冲管；与所述脉冲管低温侧连接的蓄冷器；与所述蓄冷器高温侧连接的振动发生装置；与所述脉冲管高温侧连接的带节流阀的贮存器，其特征在于，

所述振动发生装置是热驱动压力波发生装置，该热驱动压力波发生装置具有：热驱动管，其由蓄热器、加热用热交换器、放热用热交换器及做功传输管构成；共振器，连接在所述热驱动管的输入端上。

4. 一种脉冲管制冷机，具有：脉冲管；与所述脉冲管低温侧连接的蓄冷器；与所述蓄冷器高温侧连接的振动发生装置；与所述脉冲管高温侧连接的带节流阀的贮存器，其特征在于，

在所述脉冲管与所述节流阀之间具有气压弹簧共振器。

5. 一种脉冲管制冷机，具有：脉冲管；与所述脉冲管低温侧连接的蓄冷器；与所述蓄冷器高温侧连接的振动发生装置；与所述脉冲管高温侧连接的带节流阀的贮存器，其特征在于，

在所述脉冲管与所述节流阀之间具有移相器。

6. 一种脉冲管制冷机，具有：脉冲管；与所述脉冲管低温侧连接的蓄冷器；与所述蓄冷器高温侧连接的振动发生装置；与所述脉冲管高温侧连接的带节流阀的贮存器，其特征在于，

5 在所述脉冲管与所述贮存器之间具有泄漏移相器。

脉冲管制冷机

5 技术领域

本发明涉及一种脉冲管制冷机，特别涉及一种具有通过热能产生压力振动的压力振动发生装置的脉冲管制冷机。

背景技术

10 脉冲管制冷机是一种具有脉冲管、与脉冲管低温侧连接的蓄冷器、与蓄冷器高温侧连接的压缩机的制冷机。脉冲管制冷机没有低温可动部件。在使用由马达驱动的压缩机的脉冲管制冷机中，通过交替开闭设置在压缩机与蓄冷器之间的高压阀与低压阀，在脉冲管内产生压力振动。吉福德(Gifford)研制的基本型脉冲管制冷机利用的是表面热泵效应。小孔型(orifice)脉冲管制冷机，在脉冲管高温侧通过节流孔连接有缓冲器(循环箱)。基于脉冲管内的压力振动和脉冲管内的气柱(在脉冲管内形成的假想气体活塞)变位的相位差，产生冷却作用。在双向进气型脉冲管制冷机中，节流孔与脉冲管之间的流路、以及蓄冷器与压缩机之间的流路，是通过另外设有节流孔的旁通流路而连接在一起的。

20 关于斯特林发动机等的热力发动机，图9示出了使用蓄热器将热能转换成气体压力能的装置的能量流的图形。表示了蓄热器两端的边界条件变化的情况下，能量流的变化情况。这些图形中的(b)与(c)在蓄热器的低温侧端不要求输入功。另一方面，在低温侧，需要有大的扫描(sweep)体积，(c)是更现实的条件，(b)是理想条件。

25 参照图10，说明现有的小孔型脉冲管制冷机。脉冲管制冷机具有脉冲管、与脉冲管低温侧连接的蓄冷器、与脉冲管高温侧连接的缓冲器箱。在蓄冷器的高温侧(室温侧)连接有压缩机。在脉冲管与蓄冷器之间的部分，形成有产生极低温的冷位置。通过将用铜丝编制成网状体的网状体冲压成圆板状，并将多个该圆板状网状体重叠起来，容置于金属

制筒体内，从而构成蓄冷器。根据需要，有时也附加填充铅等球体。

假设在脉冲管内有如虚线所示的“气体活塞”，则很容易说明其基本的动作原理。由于始终存在于脉冲管内的气体，气体活塞如进行伸缩的固体活塞那样发挥着作用，因而，命名为气体活塞。人们注意到，因
5 压力振动而经过节流孔的气体带来能量流的变化。当脉冲管内变成高压时，随着压力的下降，气体等焓地流入缓冲器，因此，熵增加。当脉冲管内变成低压时，随着压力的下降，气体等焓地从缓冲器流出，因此，熵也增加。

即，只要振动持续，熵就会持续增大，因此，在该部分进行连续
10 的作功的吸收（或消耗）。但是，节流孔内的焓流在循环均衡下为零。结果，有一定的作功通过脉冲管内，气体活塞如膨胀机一样发挥着作用，脉冲管与蓄冷器之间的接合部的温度降低，从而发挥制冷机的作用。因此，冷冻发生的机械装置与基本型脉冲管制冷机不同，是依照 GM 循环或斯特林循环的冷冻发生机构。

15 在小孔型脉冲管制冷机中，由于原理上不受临界温度梯度的限制，所以，能够获得基本型脉冲管制冷机无法得到的低温温度。但是，在效率方面存在问题。由于膨胀作功全部变换成热能，因此作为作功不能回收，从而，不适合在大容量的冷冻系统中使用。与斯特林循环或 GM 循环的情况相比，通过蓄冷器的焓流大、冷冻效率低，所以需要大的蓄冷
20 器。

所谓理想的蓄冷器，是指这样的一种结构体，即，在有限的空间内具有无限大的比热和无限大的热传递表面积，而且具有在流动的轴向上无限小、而在径向上无限大的热传导率。例如，从蓄冷器两端流入的气体温度分别是 300K、30K，如果蓄冷器保持一定的温度梯度，则以 300K
25 流入的气体以 30K 流出，以 30K 流入的气体以 300K 流出。换句话说，在流动方向的任意位置上的气体，没有温度振动。

另一方面，实际上最普遍的蓄冷器是，将多张冲压加工成圆形的网眼细的金属丝网层叠在薄壁不锈钢管上的蓄冷器。当然，距理想状态还有很大差距，因此，气体产生温度振动，其结果，产生焓的流动，实

质上降低了冷冻量。所谓焓的流动，是将流体低压比热、温度及流量之积用一个循环(cycle)积分所得到的值，用 $\langle H \rangle$ 表示，为了使给定的蓄冷器的效率得以提高，也就是说，为了减少 $\langle H \rangle$ ，只能减少流量。但是，流量的减少会导致作功量的减少。重要的是，应采取什么样的方式，来
5 增大单位流量的作功量。

在基本型脉冲管中，由于假设是理想的蓄冷器，因此，蓄冷器内的焓的流动 $\langle H \rangle_R$ 为零。能量流的下标 R 表示蓄冷器内，P 表示脉冲管内。图 10 同时示出了蓄冷器的无用（非效率）功实质上与冷冻量的减少之间存在的关系。首先，脉冲管内的能量流，其与基本型脉冲管的情况不同，完全没有相对制冷原点在右方的热流 $\langle Q \rangle_P$ 。如果使脉冲管内壁完全
10 绝热，就不会有热流， $\langle Q \rangle_P=0$ ，因此， $\langle W \rangle_P=\langle H \rangle_P$ ，但实际上多少存在朝向左方的 $\langle Q \rangle_P$ 。

然而，与基本型脉冲管相比，温度更容易下降的理由是，通过节流孔吸收的作功量明显大于经由脉冲管壁的直接热输送量。换句话说，
15 虽然表面热泵效应受到压缩比的限制，但是，在小孔型的情况下，即使压缩比低，也可以通过对节流孔开度的调整，来控制通过流量，并且能够增大作功吸收量。由于通过节流孔的焓流为零，作功流减少，所以，熵增大。该增大的熵，在热交换器内作为热量而排出。也就是说，将功变成了热。

另一方面，从图 10 可以清楚地理解，实际的冷冻量是通过脉冲管的 $\langle H \rangle_P$ 减去通过蓄冷器的 $\langle H \rangle_R$ 的值。在制冷机中存在最低到达温度，这是因为，如果输入一定，则随着温度的下降 $\langle H \rangle_P$ 减小，同时 $\langle H \rangle_R$ 增大，最终冷冻量 Q 变成 $\langle H \rangle_P-\langle H \rangle_R=0$ 。因此，如果想降低最低到达温度，则应该在使通过脉冲管的作功流保持一定的同时减少流量，减少 $\langle H \rangle_R$ 是很
25 重要的。

图 11 是日本特愿 2002-179141 号提出的压力振动发生装置。在该压力振动发生装置中，通过加热热输入部，在作功传输管内产生自激振动。使共振器共振，并将功输入给热交换器时，该作功通过热交换器放大。该作功传递到作功传输管中，并输出给输出部。输出的作功大于

输入的作功。所输出的作功的一部分被用作气缸驱动用能量。仅仅通过加热，就可连续驱动压力振动发生装置。压力振动发生装置可以很小。

日本特开平 11-182958 号公报所公开的“脉冲管制冷机”，是通过缩短热驱动型压缩机的共振管的长度而构成小型且结构紧凑的脉冲管制冷机。通过对封入热驱动型压缩机的共振管内的的工作气体进行加热·冷却，使工作气体产生自激振动。来自热驱动型压缩机的工作气体的压力振幅，作用在制冷机本体的脉冲管及蓄冷器上，从而冷却液化容器内的氢等流体。封入共振管内的的工作气体使用的是，氦和其他稀有气体的混合气体，并且缩短共振管的长度。特别是，作为混合气体使用 He 和 Xe 的混合气体。

但是，现有的脉冲管制冷机，在使用马达驱动的压缩机的情况下，存在着振动大、且产生电噪声的问题。使用斯特林循环等的压缩机中存在着共振管的尺寸较大的问题。在利用空心共振器的情况下，也存在着振动大的问题。即使是专利文献 1 所公开的脉冲管制冷机的热驱动型压缩机，也不能解决这类问题。

发明内容

本发明的目的在于，提供一种能够解决上述现有的问题、小型且没有振动与电噪声的脉冲管制冷机。

为了解决上述问题，本发明将通过以脉冲管制冷机的振动发生装置作为热驱动压力波发生装置，上述脉冲管制冷机具有：脉冲管；与脉冲管低温侧连接的蓄冷器；与蓄冷器高温侧连接的振动发生装置；与脉冲管高温侧连接的带节流孔的贮存器，而上述热驱动压力波发生装置具有：热驱动管，其由蓄热器、加热用热交换器、放热用热交换器及作功传输管构成；移相器，其一端连接在热驱动管输出端上；反馈通路，将移相器的另一端与热驱动管的输入端连接在一起。通过这种结构，能够获得小型且没有振动与噪声的脉冲管制冷机。

即，振动发生装置的共振器或移相器采用固体压气活塞 (displacer)，并将其做成对峙型，从而，可以减少振动和小型化。在

现有的共振管型热驱动压力波发生装置中，如果是小型结构，则不能产生共振，所以不得不做成大型结构。如果把共振管型热驱动压力波发生装置做成小型结构时，工作气体与管壁发生摩擦，导致效率非常低，不实用。使用固体压气活塞的共振器或移相器，可构成小型且效率高的热驱动压力波发生装置。同样的理由，通过在吸收作功的一侧，设置固体压气活塞的共振器或移相器，可构成小型且效率高的脉冲管制冷机。

附图说明

图 1 是用于本发明第 1 实施方式的脉冲管制冷机的、热驱动压力波发生装置的示意图。

图 2 是用于本发明第 2 实施方式的脉冲管制冷机的、热驱动压力波发生装置的示意图。

图 3 是用于本发明第 3 实施方式的脉冲管制冷机的、热驱动压力波发生装置的示意图。

图 4 是用于本发明第 4 实施方式的脉冲管制冷机的、热驱动压力波发生装置的示意图。

图 5 是用于本发明第 5 实施方式的脉冲管制冷机的、共振器的示意图。

图 6 是用于本发明第 6 实施方式的脉冲管制冷机的、移相器的示意图。

图 7 是用于本发明第 7 实施方式的脉冲管制冷机的、泄漏移相器的示意图。

图 8 是用于本发明第 3、4 实施方式的脉冲管制冷机的、热驱动压力波发生装置的动作实验结果的示意图。

图 9 是表示热驱动压力波发生装置的能量流图形的示意图。

图 10 是表示现有脉冲管制冷机的能量流图形的示意图。

图 11 是用于现有脉冲管制冷机的热驱动压力波发生装置的示意图。

具体实施方式

下面，参照图 1～图 8 详细说明本发明的实施方式。

（第 1 实施方式）

5 本发明的第 1 实施方式，是关于通过热驱动压力波发生装置所驱动的脉冲管制冷机，上述热驱动压力波发生装置具有热驱动管、移相器及反馈通路。

图 1 是表示本发明的第 1 实施方式的脉冲管制冷机的结构的示意图。在图 1 中，脉冲管制冷机 1 是小孔型脉冲管制冷机。该脉冲管制冷机具有：脉冲管；与脉冲管低温侧连接的蓄冷器；与蓄冷器高温侧连接的振动发生装置；与脉冲管高温侧连接的带节流孔的贮存器。虽然省略了图示，但是与图 10 所示的情况相同。蓄热器 2 是用于形成具有一定温度梯度的等温空间的装置，也称作再生器（regenerator）。加热用热交换器 3 是向蓄热器 2 高温侧供给热的装置。放热用热交换器 4 是将蓄热器 2 低温侧冷却到室温程度的装置。作功传输管 5 是绝热空间，而且是通过工作气体的压力波传递作功的管。反馈通路 6 是使作功从移相器 7 返回到蓄热器 2 的管。移相器 7 是通过在气缸内自由往复运动的活塞使工作气体压力波的移相滞后的装置。放热用热交换器 4a 是将作功传输管 5 的作功输出侧冷却到室温程度的装置，通过放热用热交换器 4、蓄热器 2、加热用热交换器 3、作功传输管 5 及放热用热交换器 4 构成热驱动管。热驱动管是这样的一种装置：加热蓄热器 2 的高温部，并冷却低温部，由此，在蓄热器 2 上形成一定的温度梯度，使工作气体压力波的作功放大。由热驱动管、反馈通路 6 及移相器 7 构成热驱动压力波发生装置。

25 对具有上述结构的本发明第 1 实施方式的脉冲管制冷机的动作进行说明。当左右对称设置的移相器 7（压气活塞）对称地振动时，工作气体振动。结果，从加热到温度 T_h 的加热用热交换器 3 至冷却到温度 T_a 的放热用热交换器 4 产生热流。结果，在系统内产生压力振动。在该压力振动与工作气体的变位之间，存在着特定的相位差，由此形成作

功流。该被称作做功流的能量，是将吸入到系统中的热能的一部分转换成作功能的能量。其证据在于，从系统排出的热能比所吸入的热能少。

5 做功流的流向从温度 T_a 的放热用热交换器 4 朝向温度 T_h 的加热用热交换器 3 侧。即，其特征是，向与热流相反的方向流动。该做功流在通过蓄热器 2 的过程中放大。该被放大的做功流的一部分通过移相器 7（压气活塞）从反馈通路 6 供给温度 T_a 的放热用热交换器 4。其余做功作为脉冲管制冷机 1 的驱动源供给。最初假设了移相器 7（压气活塞）振动，但是，如果加热温度 T_h 与放热温度 T_a 的温度差充分大，即使在连续驱动移相器 7（压气活塞）时消耗必要的做功，也会剩余有供给到
10 脉冲管制冷机 1 的做功，因此，能获得自激振动，不需要从外部供给驱动所需的做功。

从做功传输管 5 输出的做功的一部分返回到移相器 7（压气活塞）时，使气缸内的活塞振动。返回的做功通过移相器 7（压气活塞）转换成与输入压力波相位不同的压力波，并反馈给蓄热器 2 的低温侧。反馈
15 的做功在蓄热器 2 放大，并且传递给做功传输管 5，然后，作为行进波输出。热驱动管具有对输入的做功放大并输出的放大器的功能。输出的做功的一部分再次返回移相器 7（压气活塞），热驱动管继续产生压力波。该热驱动压力波发生装置可适用于惯性型（Inertance）脉冲管制冷机，也可以在发电机等中使用。

20 如上所述，本发明的第 1 实施方式中，是通过具有热驱动管、移相器、反馈通路的热驱动压力波发生装置来驱动脉冲管制冷机的，因此，可构成小型且没有振动和电噪声的脉冲管制冷机，并且能够以简单的结构提高制冷效率。

25 （第 2 实施方式）

本发明的第 2 实施方式，是关于通过具有热驱动管、共振器、移相器及反馈通路的热驱动压力波发生装置进行驱动的脉冲管制冷机。热驱动压力波发生装置是斯特林发动机型。

图 2 是表示本发明第 2 实施方式的脉冲管制冷机结构的示意图。

在图2中，共振器8是在热驱动管做功输出侧设置的气压弹簧共振器。其他结构与第1实施方式相同。该脉冲管制冷机的基本结构与图11所示的现有的脉冲管制冷机相同。移相器的活塞可自由往复运动的这一点不同。通过热驱动管、反馈通路6、移相器7及共振器8，构成热驱动压力波发生装置。

对具有上述结构的本发明第2实施方式的脉冲管制冷机的动作进行说明。当加热用热交换器3被充分加热时，在做功传输管5内产生自激振动，相对该自激振动，共振器8以规定相位差共振。在设置于热驱动管输出侧的共振器8中，工作气体的压力波共振而产生驻波，因共振器8共振而产生的压力波是驻波，所以，没有任何做功被消除（取り出す）。与共振器8之间的做功的交换，在一个周期内的差额为零。在热驱动管内移动的工作气体的振幅变大，在热驱动管内被放大的做功被输送到脉冲管制冷机1中。在蓄热器2内所生成的做功向与热流相反的方向流动。移相器7的动作与第1实施方式相同。

该热驱动压力波发生装置是气体驱动自激斯特林发动机。斯特林循环发动机的能量流的形式如图9(a)所示。热量 Q_{in} 从蓄热器2的高温侧供给，作为热量 Q_{out} ，从蓄热器2的低温侧被排出，移相器7用作反馈通路的声能惯性（音響慣性）。为了减少机械的振动，将移相器7与共振器8对称地配置。为了在上浮状态下支承活塞，使用挠曲轴承。活塞的直径为52mm。可动质量为1.85kg。蓄热器2的大小是，直径为52mm，长度为57mm，填满200网眼的筛网。活塞与气缸的间隙约为15 μ m。在加热温度为580K，平均压力为1.5MPa，驱动频率为24.5Hz时，最小做功放大率为1.57。驱动频率高于活塞的共振频率23.5Hz。该热驱动压力波发生装置可适用于惯性型脉冲管制冷机，也可以在发电机等中使用。

如上所述，本发明的第2实施方式中，是通过具有热驱动管、共振器、移相器及反馈通路的热驱动压力波发生装置来驱动脉冲管制冷机的。因此，可构成小型且没有振动与电噪声的脉冲管制冷机，并且能以简单的结构提高制冷效率。

（第3实施方式）

本发明的第3实施方式，是关于通过具有热驱动管与共振器的热驱动压力波发生装置来驱动的脉冲管制冷机。热驱动压力波发生装置是
5 驻波型。

图3是表示本发明第3实施方式的脉冲管制冷机结构的示意图。在图3中，蓄热器2是形成具有一定温度梯度的等温空间的装置。加热用热交换器3是向蓄热器2的高温侧供给热量的装置。放热用热交换器4是将蓄热器2的低温侧冷却到室温程度的装置。高温缓冲器16是反
10 射压力波并在热驱动管内产生驻波的管。通过蓄热器2、加热用热交换器3、放热用热交换器4及高温缓冲器16构成热驱动管。共振器8是在热驱动管与脉冲管制冷机1的连接部上设置的气压弹簧共振器。通过热驱动管与共振器8构成热驱动压力波发生装置。

对具有上述结构的本发明第3实施方式的脉冲管制冷机的动作进行说明。工作气体的压力波在共振器8共振而产生驻波。
15

高温缓冲器16的封闭的端部为驻波的气体变位波节。共振器8的连接部为驻波的波腹。在热驱动管内移动的工作气体的振幅变大，在热驱动管内放大的作功被输送到脉冲管制冷机1中。与共振器8的作功的交换，在一个周期差额为零。该热驱动压力波发生装置是驻波型热声发
20 动机。使用被称作排气管的粗网蓄热器2。与第1、2实施方式不同，在该热驱动管中，作功流的方向与热流的方向相同。能量的流动以图9（d）所示的方式流动。压力波产生的作功从热驱动管的低温侧输入，在高温缓冲器16中反射，在蓄热器2中放大，从热驱动管的低温侧输出。由此，热驱动管的低温侧变成作功的输入、输出端。即使热驱动管的长度短，借助于共振器8，也能使驻波的波腹的振幅变大，因此，即
25 使热驱动压力波发生装置是小型的，也能提高压力波的发生效率。该热驱动压力波发生装置适用于惯性型脉冲管制冷机，也可以在发电机等中使用。

如上所述，本发明的第3实施方式中，由于，通过具有热驱动管

和共振器的热驱动压力波发生装置，来驱动脉冲管制冷机。因此，可构成小型且没有振动与电噪声的脉冲管制冷机，并且能以简单的结构提高制冷效率。

5 (第4实施方式)

本发明的第4实施方式，是关于通过在热驱动管输出侧的相反一侧设有共振器的热驱动压力波发生装置来驱动的脉冲管制冷机。

图4是表示本发明第4实施方式的脉冲管制冷机结构的示意图。在图4中，脉冲管制冷机1是小孔型脉冲管制冷机。蓄热器2是形成具有一定温度梯度的等温空间的装置。加热用热交换器3是向蓄热器2的高温侧供给热量的装置。放热用热交换器4是将蓄热器2的低温侧冷却到室温程度的装置。做功传输管5是绝热空间，并且是通过工作气体的压力波传递做功的管。放热用热交换器4a是将做功传输管5的做功输出侧冷却到室温程度的装置。通过放热用热交换器4、蓄热器2、加热用热交换器3、做功传输管5及放热用热交换器4构成热驱动管。热驱动管是这样的一种装置：加热蓄热器2的高温部，冷却低温部，借此，在蓄热器2上形成一定的温度梯度，使工作气体压力波的做功放大。共振器8是在热驱动管与脉冲管制冷机1的连接部的相反一侧设置的气压弹簧共振器。通过热驱动管与共振器8构成热驱动压力波发生装置。

20 对具有上述结构的本发明第4实施方式的脉冲管制冷机的动作进行说明。在温度 T_a 的放热用热交换器4侧，安装有左右对称型的一对共振器8（压气活塞）。将来自温度 T_h 的加热用热交换器3的热流的一部分转换成做功流。进而，其一部分从温度 T_a 的放热用热交换器4侧被排出，用于驱动共振器8（压气活塞）。其余做功从温度 T_h 的加热用热交换器3侧被排出，并通过做功传输管5供给脉冲管制冷机1。由于没有形成闭环（loop），所以，消除了循环流的发生所引起的不稳定性。

25 工作气体的压力波通过共振器8而发生共振，并在共振器8中产生驻波。在热驱动管内移动的工作气体的振幅变大，热驱动管内放大的做功被输送到脉冲管制冷机1中。与共振器8的做功的交换，在一个周

期为零。

在热驱动压力波发生装置的实验中，工作气体为氦气并以共振频率 31.5Hz 振荡，通过适合驱动脉冲管制冷机的平均压力 2.3MPa 得到了大于等于 1.1 的压力比。加热温度 T_h 为 723K，冷却温度 T_a 为 290K。

- 5 一旦压力振动开始，便继续振动，直到加热温度成为小于等于 450K，该实验结果在图 8 中示出。该热驱动压力波发生装置适用于惯性型脉冲管制冷机，也可以在发电机等中使用。

10 如上所述，本发明的第 4 实施方式中，是通过在热驱动管输出侧的相反一侧设有共振器的热驱动压力波发生装置来驱动脉冲管制冷机的。因此，可实现小型且没有振动与电噪声的脉冲管制冷机，并且能以简单的结构提高制冷效率。

（第 5 实施方式）

15 本发明的第 5 实施方式，是关于在脉冲管与节流孔之间具有气压弹簧共振器的脉冲管制冷机。

图 5 是表示本发明第 5 实施方式的脉冲管制冷机结构的示意图。在图 5 中，共振器 8a 是将封闭的气体作为弹簧，使活塞往复运动的共振器。贮存器 13 是存放工作气体的缓冲器箱。节流孔 14 是对工作气体施加阻力并使其通过的通路。其他结构与第 4 实施方式相同。

20 对具有上述结构的本发明第 5 实施方式的脉冲管制冷机的动作进行说明。一般，作为效率高的脉冲管制冷机的相位控制机构，使用把被称作惯性管的长管和贮存器容器串联连接起来的“惯性相位控制机构”。但是，该机构不能有效地适用于小型脉冲管制冷机中。其理由是，需要缩小长管的直径，结果，增大了在该管内部振动的气体的压力损失，同时，减少了存在于该管中的气体质量，从而理想的共振条件不成立。

25 另一方面，如果利用将固体活塞和节流阀并用的控制系统，则即使是很小的脉冲管制冷机，理想的共振条件也充分成立。理想的共振条件是指，实现脉冲管温端部的气体变位与压力振动的相位差超过 90 度的状态。如果采用最近的微型机械学的先进技术，制造超小型活塞就不

会有困难，这也是趋近于实现该技术的因素之一。为了使脉冲管制冷机小型化，该方式的相位控制机构是重要的。

借助于在脉冲管 15 与节流阀 14 之间所设置的共振器 8a，即使是短的脉冲管，也能够产生共振。由于共振器 8a 成为振动的波腹，所以，
5 可以以大的振幅在与节流阀 14 之间进行工作气体的互相交换。可以实现小型且有效的相位控制机构。可以使用任何形式的压力振动发生装置。

如上所述，本发明的第 5 实施方式中，由于脉冲管制冷机构成为：在脉冲管与节流阀之间设有气压弹簧共振器，因此，不需要使用较长的
10 共振管，能实现小型且没有振动与电噪声的脉冲管制冷机，并且能以简单的构成提高制冷效率。

（第 6 实施方式）

本发明的第 6 实施方式是在脉冲管与节流阀之间具有移相器的脉
15 冲管制冷机。

图 6 是表示本发明第 6 实施方式的脉冲管制冷机结构的示意图。在图 6 中，移相器 7 是使工作气体的移动相位延迟的装置。其他结构与第 4 实施方式相同。

对具有上述结构的本发明第 6 实施方式的脉冲管制冷机的动作进行说明。借助于设置在脉冲管 15 与节流阀 14 之间的移相器 7，延迟工作气体的移动相位，可提高制冷效率。与只有节流阀 14 的情况相比，通过移相器 7，就能增大对压力波的气体变位的移相量，提高制冷效率。把没有节流阀 14 的情况的相位作为 0 度，则如果设置节流阀 14，相位差就变成 90 度。进而设置移相器 7 时，相位差就变成 110 度的程度。
20 另外，由于可以按所期望的那样设计移相器 7 的特性，因此，可实现最佳的工作特性。此外，可以利用任一类型的驱动脉冲管制冷机的压力振动发生装置。

如上所述，本发明的第 6 实施方式中，由于脉冲管制冷机构成为：在脉冲管与节流阀之间设有移相器，因此，能实现小型且没有振动与电

噪声的脉冲管制冷机，并且能以简单的结构提高制冷效率。

（第 7 实施方式）

本发明的第 7 实施方式是在脉冲管与贮存器之间具有泄漏移相器
5 的脉冲管制冷机。

图 7 是表示本发明第 7 实施方式的脉冲管制冷机结构的示意图。
在图 7 中，泄漏移相器 12 是在活塞与气缸之间设有使工作气体通过的
间隙的压气活塞。不设置节流阀。

对具有上述结构的本发明第 7 实施方式的脉冲管制冷机的动作进
10 行说明。设置在脉冲管 15 与贮存器 13 之间的泄漏移相器 12，具有兼
作压气活塞与节流阀的功能。从功能上讲，与第 6 实施方式基本相同。
在第 6 实施方式中，移相器与节流阀串联连接，与此相对，在该例中，
从功能上考虑，移相器与节流阀并联连接。通过把泄漏移相器 12 的气
缸与活塞之间的间隙用作节流阀，不需要另外设置节流阀，并且可使装
15 置小型化。另外，可以使用任一类型的压力振动发生装置。

如上所述，本发明的第 7 实施方式中，脉冲管制冷机在脉冲管与
贮存器之间设有泄漏移相器，因此，能以简单的结构构成做功吸收装置。

从以上说明可以理解，在本发明中，将脉冲管制冷机的振动发生装
置作为热驱动压力波发生装置。上述脉冲管制冷机的振动发生装置具有
20 脉冲管、与脉冲管低温侧连接的蓄冷器、与蓄冷器高温侧连接的振动发
生装置、与脉冲管高温侧连接的带节流阀的贮存器。上述热驱动压力波
发生装置具有：由蓄热器、加热用热交换器、放热用热交换器及做功传
输管构成的热驱动管；一端连接在该热驱动管输出端的移相器；以及将
移相器的另一端与热驱动管的输入端连接在一起的反馈通路，因此，能
25 构成小型且没有振动与噪声的脉冲管制冷机。

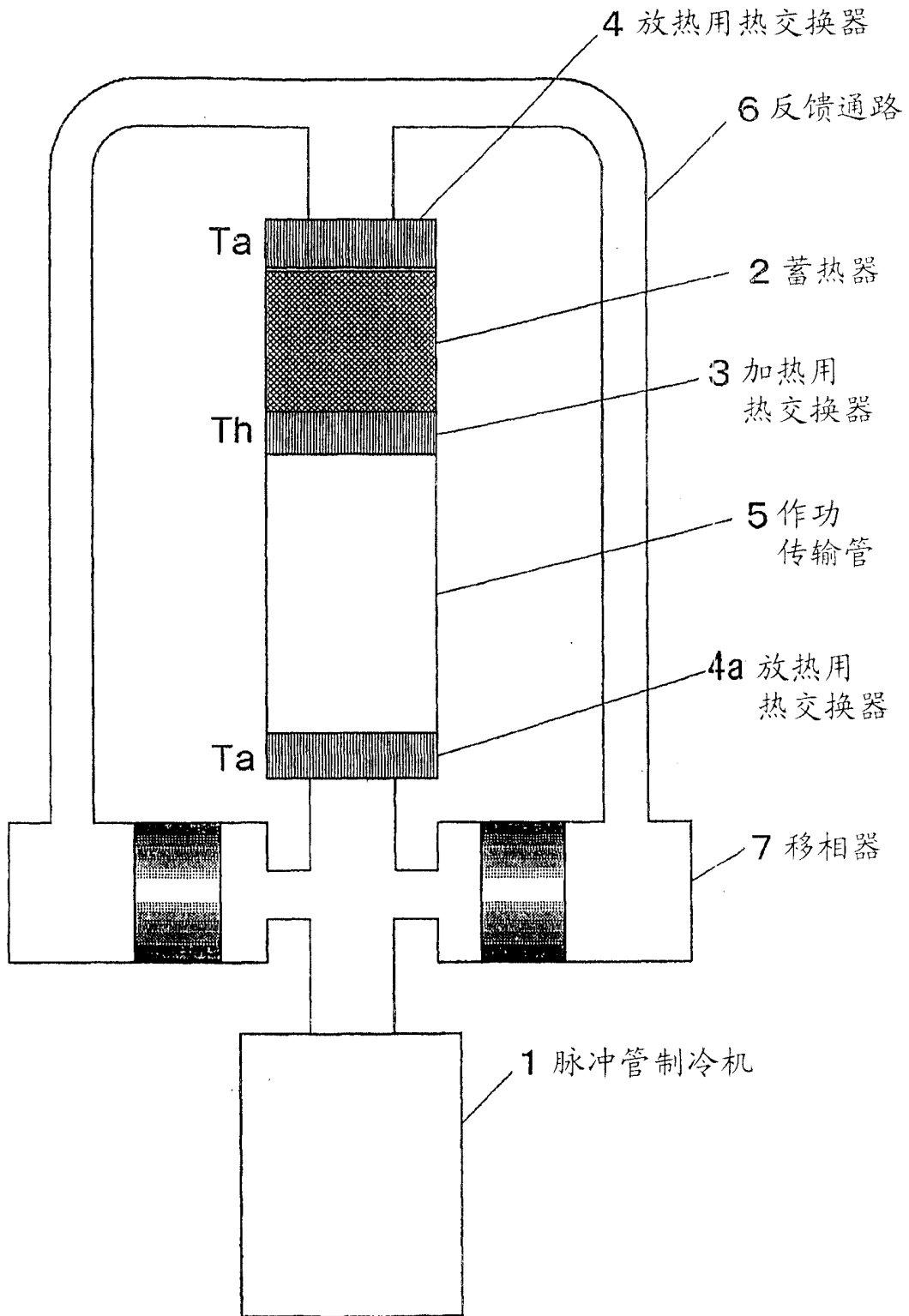


图 1

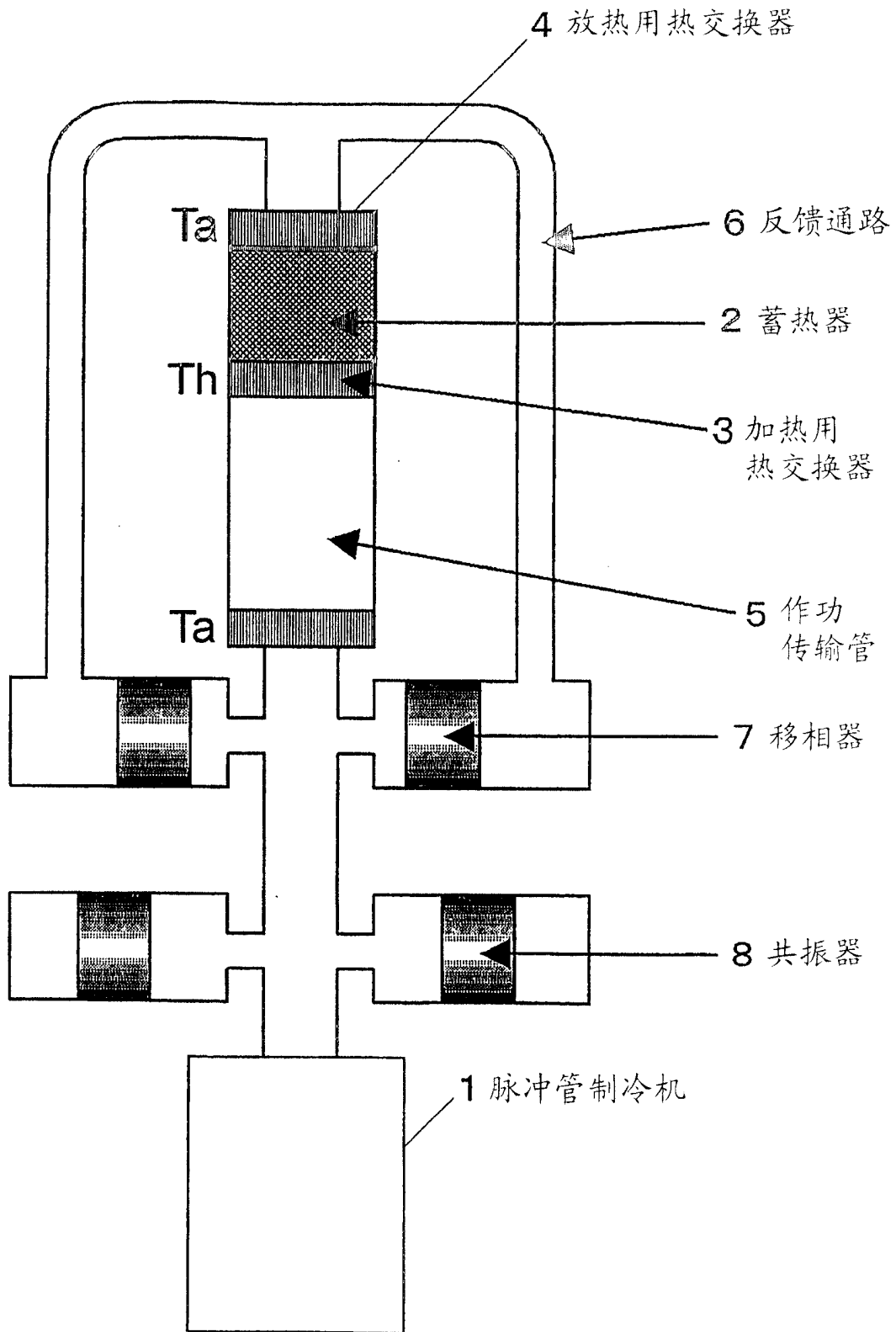


图 2

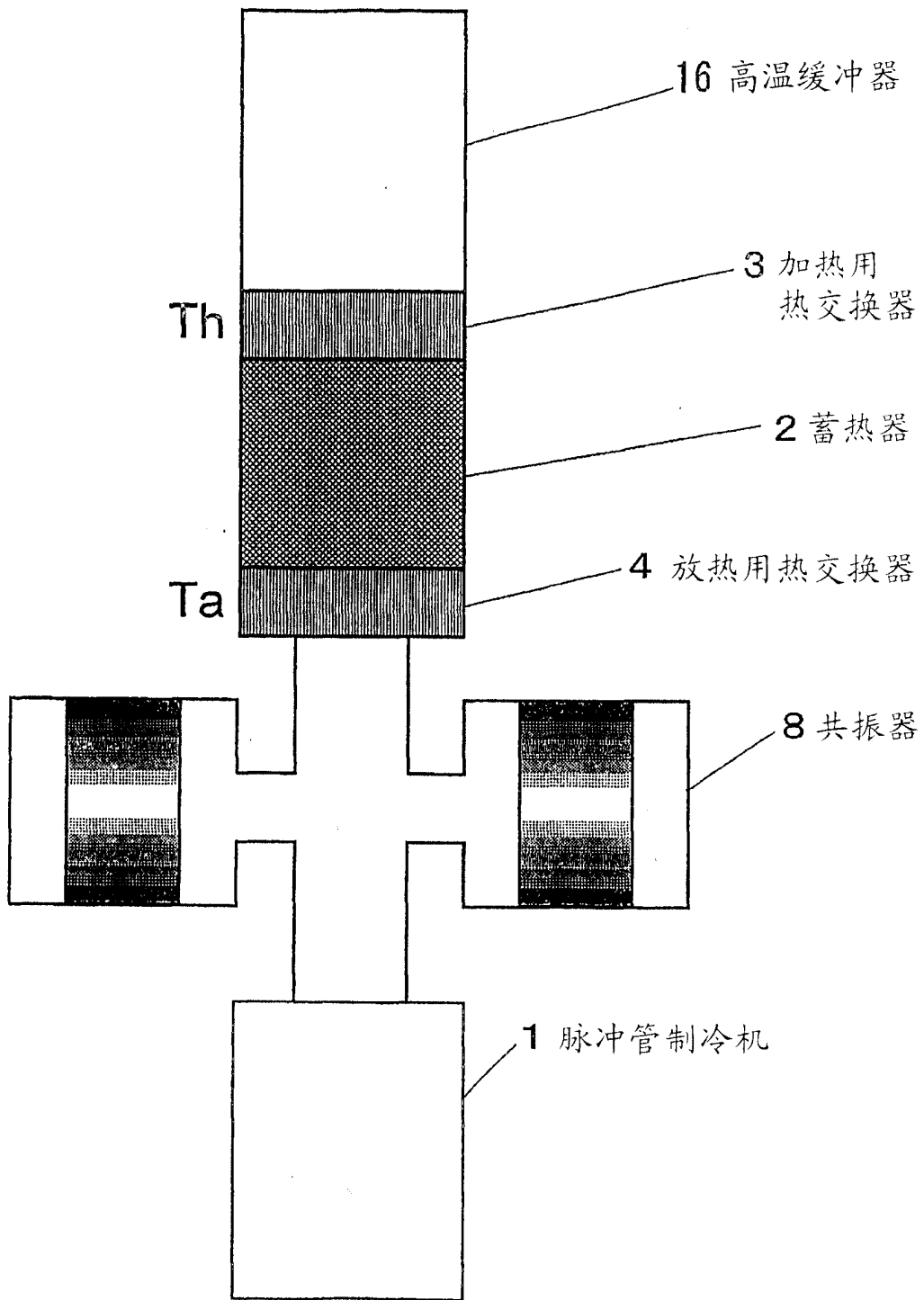


图 3

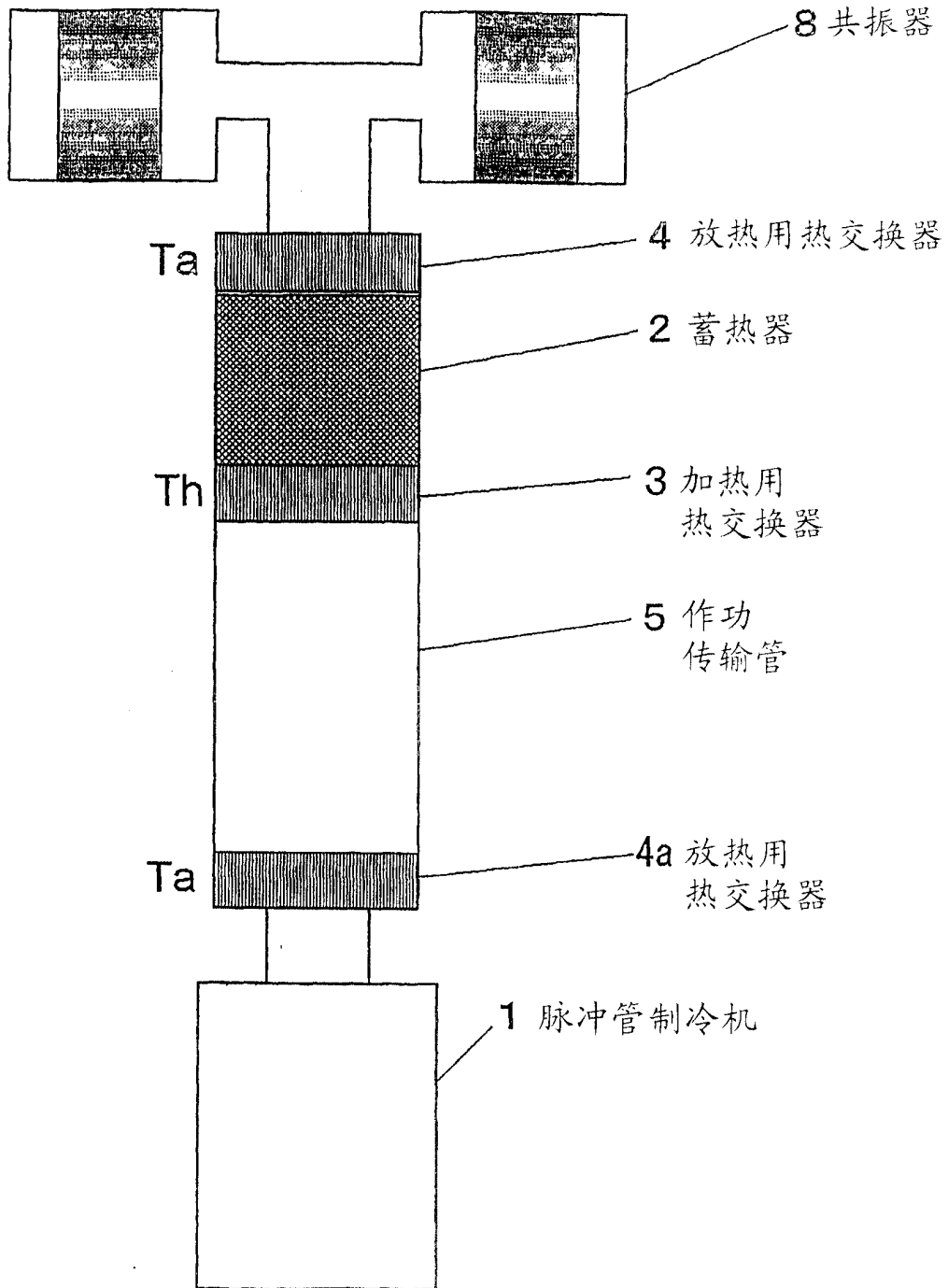


图 4

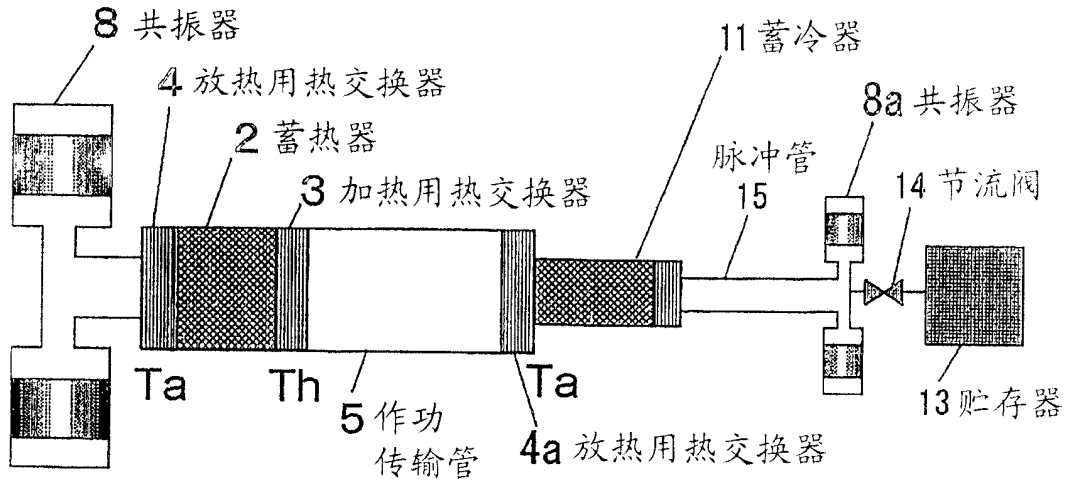


图 5

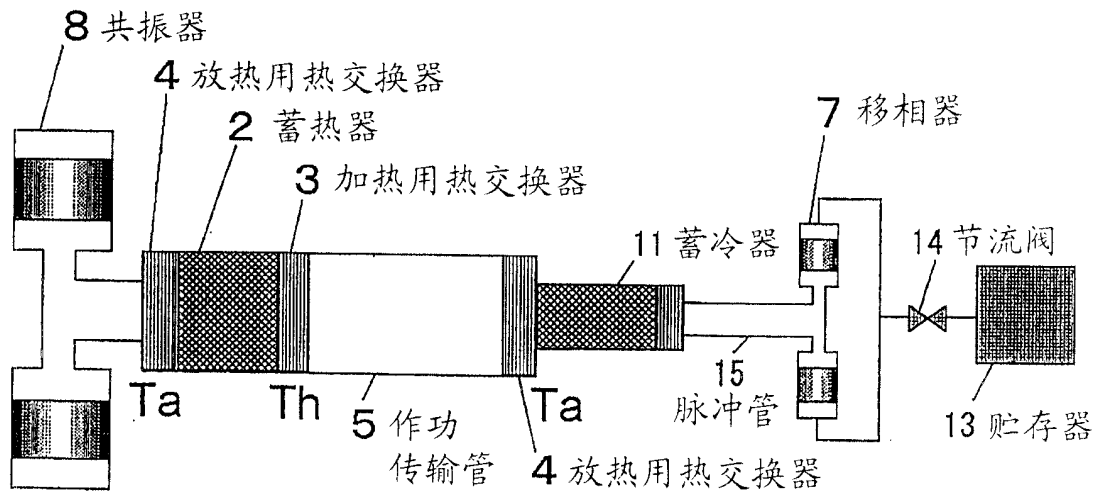


图 6

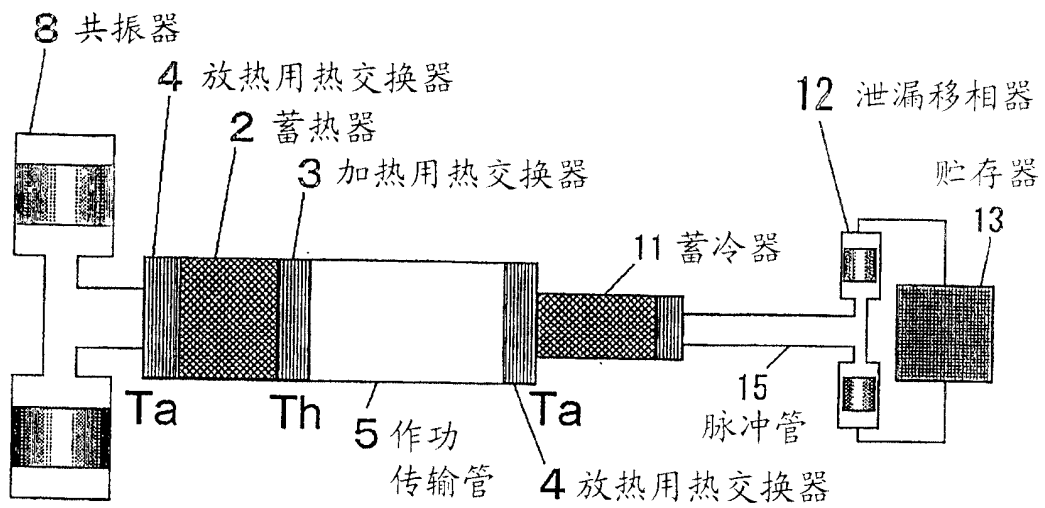
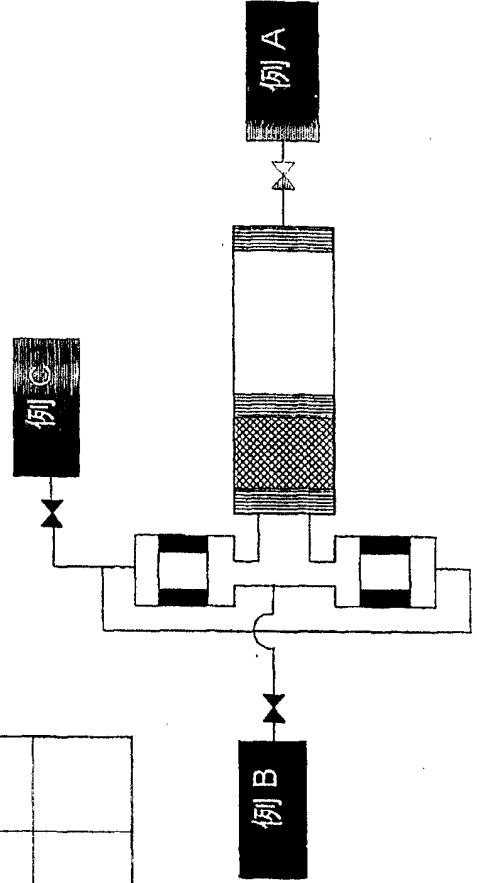
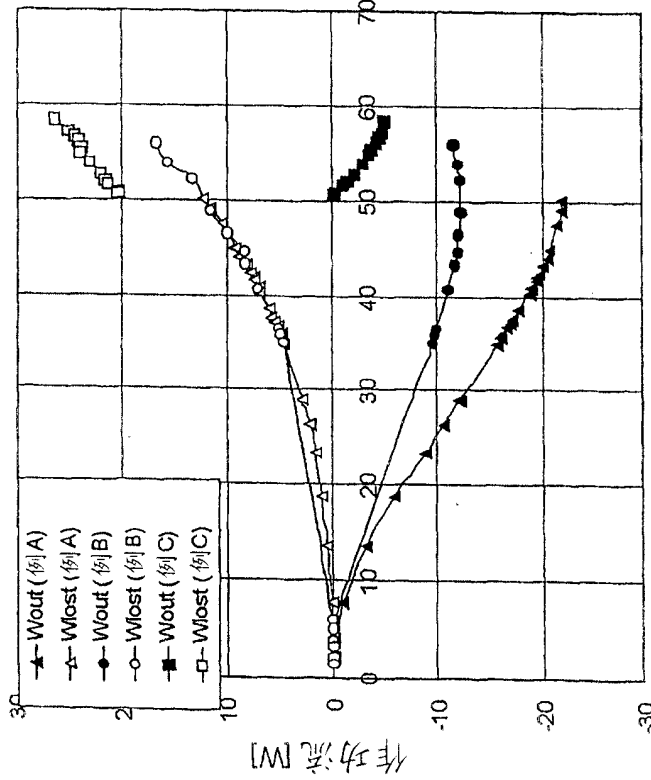
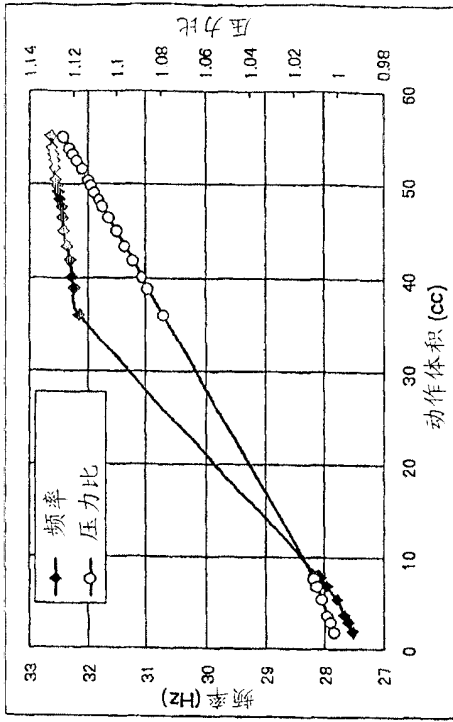


图 7

实验数据



压气活塞的动作体积 [cc]

平均压力 = 2.0 MPa (He)

加热温度 ~ 720 K

贮存器体积 = 250 cm³

输出功从等温空间的热吸收开始计算

图 8

在改变边界条件的情况下的能量流图形的差

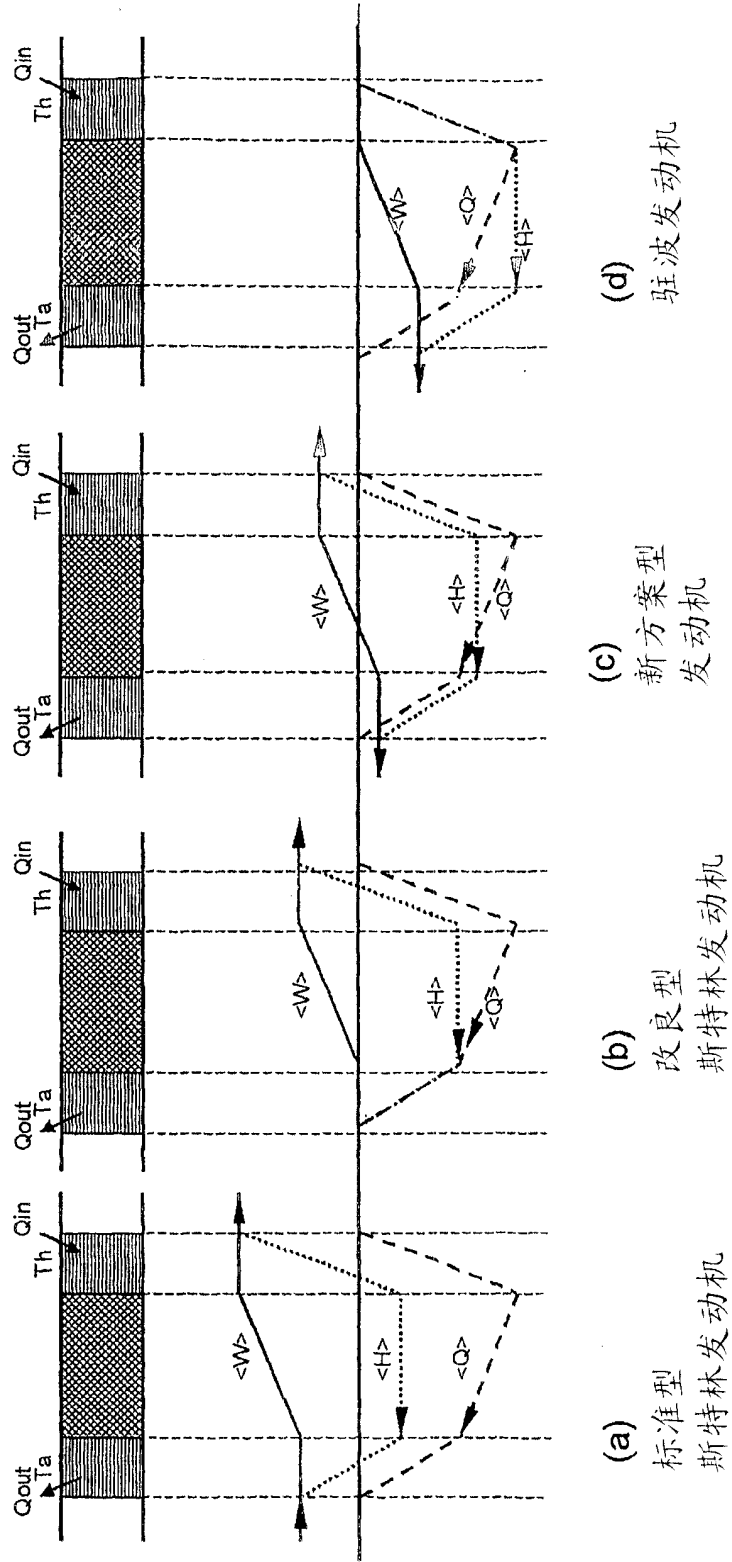


图 9

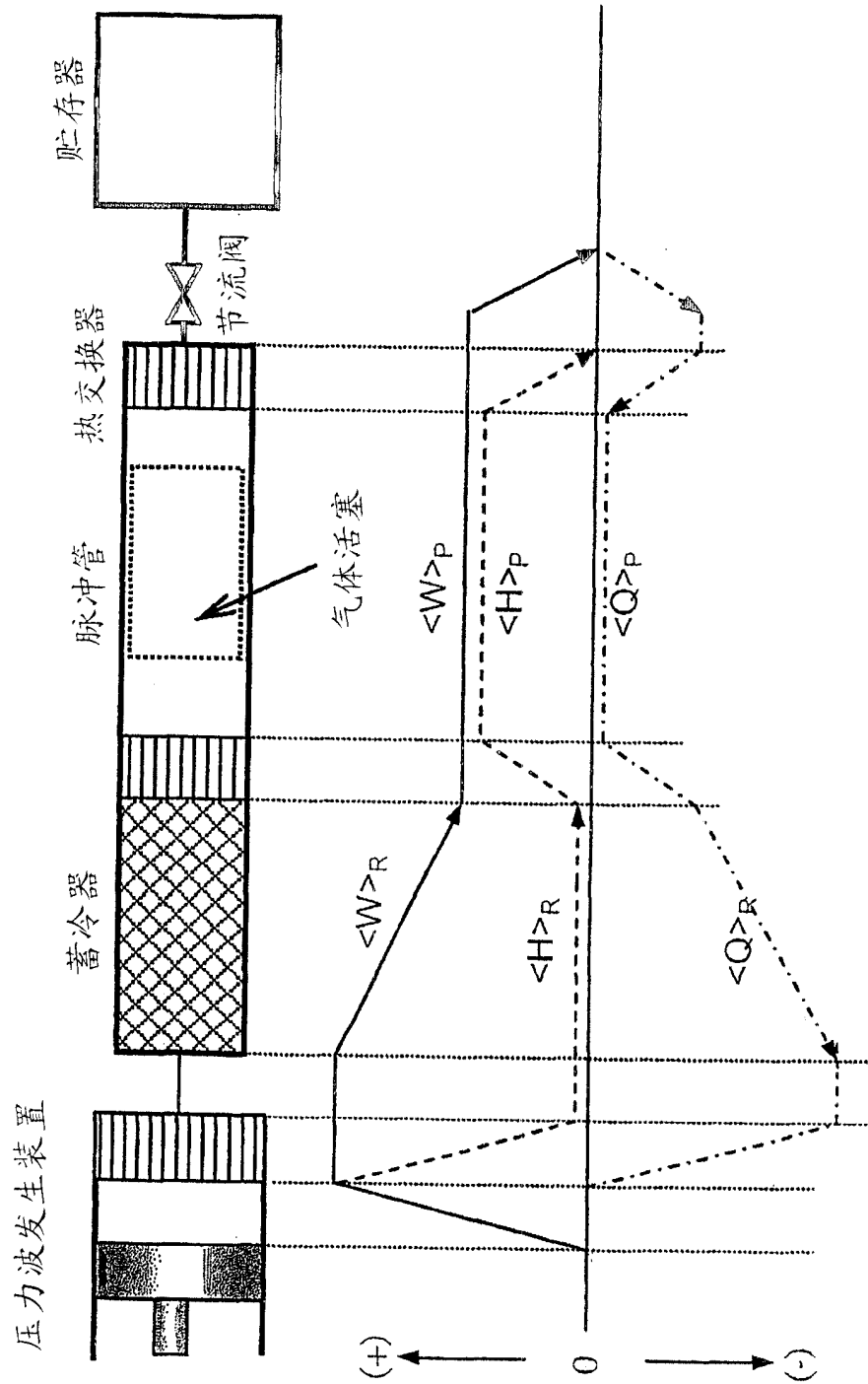


图 10

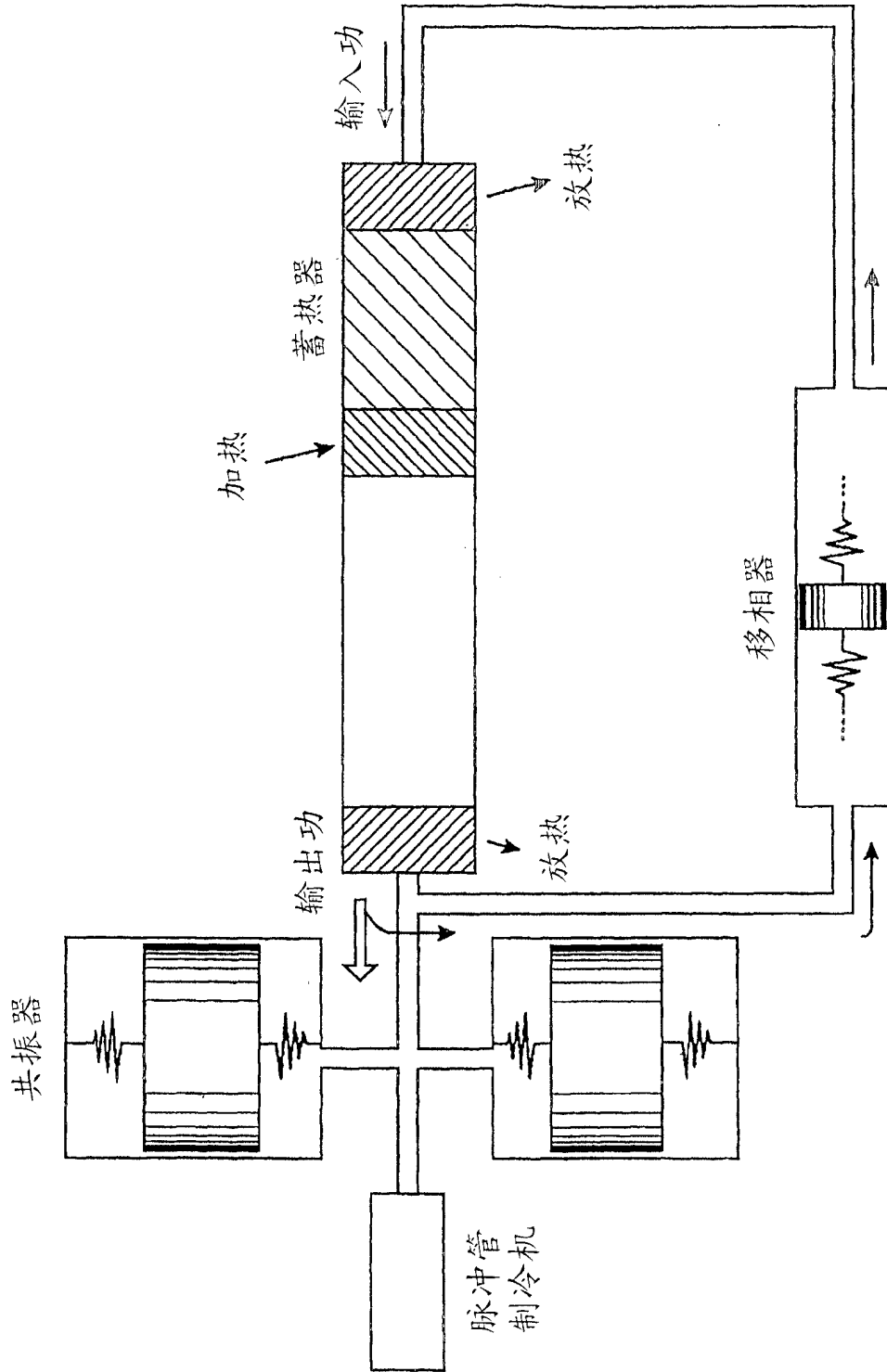


图 11