(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103097662 B
(45)授权公告日 2016.04.20

(21)申请号 201180013110.6
(22)申请日 2011.03.09
(30)优先权数据
204389 2010.03.09 IL
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2012.09.07
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/IL2011/000223 2011.03.09
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2012/046222 EN 2012.04.12
(73)专利权人 阿加姆能源系统有限公司
地址 以色列哈萨隆
(72)发明人 G·阿萨夫
(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所 11256
代理人 苏娟
(51)Int.Cl.
F01C 7/00(2006.01)

(56)对比文件
CN 101344075 A,2009.01.14,
US 1463646 A,1923.07.31,
WO 9622467 A1,1996.07.25,
CN 2814298 Y,2006.09.06,
US 4112688 A,1978.09.12,
US 2937499 A,1960.05.24,

审查员 裴志红

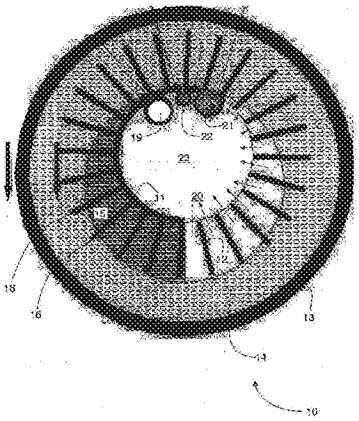
权利要求书2页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

液环式旋转壳体汽轮机及其使用方法

(57)摘要

一种旋转液环式旋转壳体汽轮机(10),具有至少一个液环式旋转壳体(13),至少一个液环式旋转壳体具有偏心地安装的叶轮(11),叶轮能够在周围液环(14)内旋转以便形成在叶轮的相邻叶片之间体积相继增加的室(15)。由高压气体形成的工作流体喷射到叶轮中,在叶轮处,室经由叶轮的静态轴向孔(23)内的流体入口(19)是窄的,以便转动叶轮并且如此气体基本上等熵地膨胀。流体出口(20)在叶轮的静态轴向孔内,并且与流体入口流体分隔,用于允许流体在低压和低温下逸出。



CN 103097662 B

1. 一种液环式旋转壳体汽轮机 (10)，包括：

至少一个液环式旋转壳体 (13)，其具有偏心地安装的叶轮 (11)，所述叶轮 (11) 能够在周围液环 (14) 内旋转以便形成在叶轮的相邻叶片之间体积相继增加的室 (15)，

流体入口 (19)，其在叶轮的静态轴向孔 (23) 内，用于将作为气体的流体在高压下喷射到叶轮内，在流体入口所在的叶轮处的室是窄的，以便转动叶轮并且如此以基本上等熵地膨胀且至少部分地经历气相至液相的改变，以及

流体出口 (20)，其在叶轮的静态轴向孔内，并且与流体入口流体分隔，用于允许流体在低压和低温下离开，

其中，所述液环比气体更热以防止气体凝结，所述液环与水不融合。

2. 根据权利要求 1 所述的汽轮机，包括位于所述叶轮和壳体之间的机械联接件 (17, 18)，以便以相似速率转动叶轮和壳体。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的汽轮机，其中，所述气体能够在与位于汽轮机外侧的冷液体冷凝器 (35) 直接接触时凝结。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的汽轮机，其中，所述气体能够在汽轮机内侧进行冷液体喷洒时凝结。

5. 根据权利要求 1 所述的汽轮机，其中，在使用中，流体在不需要压缩的情况下从气体相改变为液体相。

6. 根据权利要求 1 所述的汽轮机，其中，所述液环由比水密度大的液体形成。

7. 根据权利要求 1 或 6 所述的汽轮机，其中，所述液环是油。

8. 根据权利要求 1 或 6 所述的汽轮机，其中，所述液环是浓盐水。

9. 一种热力发动机 (40)，包括根据权利要求 1 至 8 中任意一项所述的旋转液环式旋转壳体汽轮机 (10)。

10. 一种使用汽轮机产生轴功的方法，包括：

提供至少一个液环式旋转壳体 (13)，其具有偏心地安装的叶轮 (11)，所述叶轮 (11) 能够在周围液环 (14) 内旋转以便形成在叶轮的相邻叶片之间体积相继增加的室 (15)，

将作为气体的流体经由叶轮的静态轴向孔 (23) 内的流体入口 (19) 在高压下喷射到叶轮内，在流体入口所在的叶轮处的室是窄的，以便转动叶轮并且如此以基本上等熵地膨胀且至少部分地经历气相至液相的改变，

允许流体在低压和低温下经由叶轮的静态轴向孔内的流体出口 (20) 逸出，流体出口 (20) 与流体入口流体分隔，以及

加热所述液环，以防止气体在与其接触时凝结，所述液环与水不融合。

11. 根据权利要求 10 所述的方法，包括以相似速率转动叶轮和壳体。

12. 根据权利要求 10 或 11 所述的方法，包括通过与位于汽轮机外侧的冷液体冷凝器 (35) 直接接触来凝结所述气体。

13. 根据权利要求 10 或 11 所述的方法，包括在汽轮机内侧进行冷液体喷洒时凝结气体。

14. 根据权利要求 10 所述的方法，其中，流体在不需要压缩的情况下从气体相改变为液体相。

15. 根据权利要求 10 所述的方法，其中，所述液环由比水密度大的液体形成。

16. 根据权利要求 10 或 15 所述的方法，其中，所述液环是油。

17. 根据权利要求 10 或 15 所述的方法，其中，所述液环是浓盐水。

18. 根据权利要求 10 或 11 所述的方法，其中，所述流体取自地热源的热水。

液环式旋转壳体汽轮机及其使用方法

技术领域

[0001] 本发明涉及热力发动机，更具体地，涉及液环式旋转壳体压缩机 (LRRCC) 热力发动机。

背景技术

[0002] 在液环式膨胀机中，叶轮偏心地安装在膨胀机主体内，其中叶轮上安装有叶片。维护液体存在于膨胀机主体内，并且由于叶轮旋转产生的离心力而冲向膨胀机主体的壁。维护液体的体积小于膨胀机主体的体积。这样，膨胀机主体内的维护液体形成周向液环，该周向液环在每种情况下形成由液环和两个叶片限定边界的室。由于膨胀机主体内的叶轮的偏心定位，室的尺寸在叶轮旋转方向上增大，由此允许气体在高压下被引入到膨胀机的窄室内以膨胀并因此转动叶轮。

[0003] 液环式压缩机以相似方式操作，只有在这种情况下气体被引入到膨胀机的最宽室内，使得室的尺寸在叶轮旋转方向上减小。由于叶轮旋转和室的尺寸减小，已经被吸入的气体受到压缩并且在高压侧从液环式膨胀机喷出。

[0004] 以本发明人的名义的 US 2008/0314041（对应于 IL 163263）公开了一种热力发动机，该热力发动机包括具有流体入口和流体出口的至少一个液环式旋转壳体压缩机 (LRRCC)、与 LRRCC 的输出流体连通的燃烧室、以及具有流体入口和流体出口的至少一个膨胀机。流体入口与燃烧室连通。从 EP 804687 还已知高效的 LRRCC 压缩机 / 汽轮机。

[0005] US 2008/0314041 和 EP 804687 的内容通过引用结合在此。

[0006] 在 US 2008/0314041 中描述的热力发动机中，LRRCC 同膨胀机合作使用，膨胀机可以是传统汽轮机或上述类型的液环式膨胀机。在汽轮机是具有旋转壳体的液环式膨胀机的情况中，处于高压和高温的空气喷射到壳体中以便转动叶轮。

[0007] 液环式汽轮机只有在壳体与叶轮一起旋转时是可行的，因为叶轮和固定的壳体之间的摩擦被抑制以获得合理的效率。在文献中已知旋转壳体旋转液环式汽轮机，但迄今为止仅仅是在理论上基于膨胀机是对压缩机的补充的物理原理。当然，尽管这在原理上是真实的，但实际的旋转壳体液环式汽轮机似乎没有被实现，并且当前使用的大多数汽轮机采用超高压蒸汽以使汽轮机在高速下转动。如所熟知的，若干个汽轮机通常串联使用，从一个汽轮机喷出的蒸汽用于转动下一个汽轮机并且诸如此类，直到蒸汽的压力过低以至于无法有效使用。随后，使用可以来自河流、大海或冷却塔的冷水来冷却蒸汽。

[0008] 将蒸汽用在旋转壳体旋转液环式汽轮机中已经由美国专利 No. 4112688 (Shaw) 提出，该美国专利描述了由膨胀气体驱动且具有旋转壳体的旋转液环式汽轮机。Shaw 要求在能量传输介质中不出现相变，相变例如在兰金汽轮机循环的情况下会出现，在兰金汽轮机循环中，水转化成蒸汽并且再转化回来，造成不可避免的能量损耗以及降低的运行效率。

[0009] 但是，为了满足这种要求，在膨胀阶段的过程中必须不断地提供能量，以使工作介质保持为蒸汽并且由此阻止其凝结。这通过在叶轮中提供热交换器来实现。

[0010] 如所描述的，例如，在 Wikipedia ®中，兰金循环的使用很好地建立于蒸汽汽轮机

中，在该处，使用泵来将从冷凝器接收的工作流体加压为液体，代替加压为气体。泵送工作流体通过完整循环的所有能量被损耗，正如在锅炉中工作流体的所有蒸发能量。在前者中，该能量损耗以循环，在汽轮机中不会发生凝结；所有蒸发能量通过冷凝器从循环中遗弃。但是，与在压缩机中将工作流体压缩为气体（如在卡诺循环中）相比，将工作流体作为液体泵送通过循环要求非常小部分的能量就能输送液体。

[0011] 兰金循环中的工作流体遵循闭环，并且不断地再利用。来自动力站的通常所见为波状的具有夹带液滴的水蒸气由冷却系统产生（不是来自闭环兰金动力循环），并且代表不能转换成汽轮机中的有用功的废能热量（泵送和蒸发）。

[0012] 兰金循环相对于其它所持有的主要优点之一是在压缩阶段过程中，驱动泵所需的功相对小，工作流体在此时处于其液体相。通过冷凝流体，泵所需的功仅消耗汽轮机动力的1％至3％，并且有助于用于实际循环的更高的效率。与气轮机、例如具有接近1500℃的汽轮机进口温度的气轮机相比，上述优势由于较低的加热温度而在某种程度上消失。图1是用于传统兰金循环（基于Wikipedia®中的开源数据）的温度(T)-熵(S)图表，显示了具有如下所列的四个过程：

[0013] 过程1-2：工作流体从低压被泵送到高压；由于在此阶段流体是液体，泵需要很少的输入能量。

[0014] 过程2-3：高压液体进入锅炉，在此处，高压液体通过外部热源以恒定压力加热以变为干饱和蒸汽。

[0015] 过程3-4：干饱和蒸汽膨胀通过汽轮机，产生动力。这减小了蒸汽的温度和压力，并且会出现一些凝结。

[0016] 过程4-1：湿蒸汽随后进入在汽轮机外部的冷凝器，在此处，湿蒸汽以恒定压力凝结以变成饱和液体。

[0017] 在理想的兰金循环中，泵和汽轮机是等熵的，即，泵和汽轮机不产生熵，由此使净功输出最大。过程1-2和3-4在T-S图表上以竖直线表示，并且更接近地类似卡诺循环的过程1-2和3-4。图1中所示的兰金循环防止蒸汽在汽轮机中膨胀之后终止在过热区域，这减少了由冷凝器去除的热量。

[0018] 点3位于T-S曲线的绘制蒸汽和气体之间的边界的包络线上。因此，如果工作流体是水，在点3的右边，而如果工作流体是纯蒸汽则在左边，即，在T-S曲线的包络线内工作流体是湿蒸汽并且在点1的左边，工作流体是水。由于蒸汽是湿的并且当水滴以高压撞击在汽轮机叶片上时，水滴容易导致诸如叶片的点蚀和腐蚀等损坏，在实际的汽轮机中将工作流体的温度从3降到4被认为是不希望的。这毁损汽轮机的性能并且有时导致不可逆的损坏，致使叶片不能再利用。这个问题通过使用耐腐蚀的特殊材料已经被解决，但这些特殊材料非常昂贵。

[0019] 为了避免在使用传统材料的同时由湿蒸汽造成的点蚀，通常采用蒸汽在点3处过热，以便在被引导至汽轮机叶片上之前将温度提升至接近1000℃。由点划线示出的过热使蒸汽干燥，由此避免汽轮机叶片点蚀的问题。通常，允许蒸汽凝结到由T-S曲线上的5表示的点，在该处，其温度大大降低并且随后再加热且再次作为干蒸汽被引导至汽轮机叶片，在汽轮机叶片处，其损耗热量并且冲击T-S曲线的点6，在该处，其熵(S)明显高于传统兰金循环的熵，且没有过热。

[0020] 总之，兰金循环要么需要特殊材料用于汽轮机叶片，在这种情况下，等熵的热能转换是可行的，但以非常昂贵的汽轮机叶片为代价；要么需要过热以确保在热能转换阶段过程中，蒸汽保持干燥。这降低了发动机的总体效率。

[0021] 本发明试图提供近似兰金循环的优势，其基本上是等熵的，且不需要蒸汽在热能转换阶段过程中被干燥。

发明内容

[0022] 本发明的一个目的是在旋转壳体旋转液环式汽轮机中采用蒸汽，同时避免蒸汽凝结至少直到其已经做了充分的功，由此使其作为推进剂有效。

[0023] 另一个目的是提供一种使用部分兰金循环的气轮机，其基本上是等熵的，但不需要蒸汽在热能转换阶段过程中被干燥。

[0024] 根据本发明的一方面，提供一种旋转液环式旋转壳体气轮机，包括：

[0025] 至少一个液环式旋转壳体，其具有偏心安装的叶轮，所述叶轮能够在周围液环内旋转以便形成在叶轮的相邻叶片之间体积相继增加的室，

[0026] 流体入口，其在叶轮的静态轴向孔内，用于将作为气体的流体在高压下喷射到叶轮内，在叶轮处，室是窄的以便转动叶轮并且如此以基本上等熵地膨胀，以及

[0027] 流体出口，其在叶轮的静态轴向孔内，并且与流体入口流体分隔，用于允许流体在低压和低温下离开。

[0028] 根据本发明的另一方面，提供一种包括这种汽轮机的热力发动机。

[0029] 这种方案的主要优势在于不需要压缩机，由此节约能量且提高热力学效率。这又意味着采用旋转液环式旋转壳体气轮机的热力发动机较小且适用于在低温和低速运行的相对低动力的应用。例如，与在超过 130℃运行且具有大约 12％效率的传统汽轮机不同，根据本发明的汽轮机能够在低至 100℃运行且还具有 16％的效率。

[0030] 又一个优势在于根据本发明的汽轮机可以采用开放水循环，其中冷水在凝结之后不需要被再加热来形成蒸汽，如在蒸汽汽轮机中通常要完成的。因此，虽然本发明也可以采用闭式循环（如果希望的话），但通过使用地热加热水的恒定源获得了较好的热力学性能，其中离开汽轮机的湿蒸汽凝结并返回到大气。

附图说明

[0031] 为了理解本发明并了解本发明在实践中是如何执行的，现在将参照附图仅通过非限制性例子来描述实施方式，其中：

[0032] 图 1 是传统兰金循环的温度 - 熵图表，其用于解释本发明与传统蒸汽汽轮机的不同之处；

[0033] 图 2 示意性地显示根据本发明的第一实施方式的具有外部蒸汽冷凝器的 LRRC 蒸汽汽轮机的截面；

[0034] 图 3 示意性地显示根据本发明的第一实施方式的具有内部蒸汽冷凝器的 LRRC 蒸汽汽轮机的截面；

[0035] 图 4 是采用图 1 的 LRRC 蒸汽汽轮机的热力发动机的框图；

[0036] 图 5 是采用图 3 的 LRRC 蒸汽汽轮机的热力发动机的框图；和

[0037] 图 6 是根据本发明的热力发动机的图解式立体图。

具体实施方式

[0038] 在以下一些实施方式的描述中，在多幅图中出现或者共有类似功能的相同部件将通过相同的附图标记表示。

[0039] 参照图 2，以示意性截面显示旋转液环式汽轮机 10，其中，具有径向叶片 12 的叶轮 11 围绕静态管逆时针旋转。叶轮由旋转壳体 13 包围，旋转壳体 13 包含液环 14 且围绕与叶轮的轴线平行但偏心的轴线旋转，以便形成在每种情况下由液环和两个叶片 16 限定边界的室 15。诸如部分地啮合的环形齿轮系 17 和 18 的机械联接件可以设置在叶轮和壳体之间，以便以相似速率转动叶轮和壳体。由于叶轮在旋转壳体内的偏心定位，室的尺寸在叶轮的旋转方向上增大。

[0040] 流体入口 19 设置在叶轮叶片最靠近壳体内壁的位置附近，在壳体内壁处，室是窄的以便完全浸没在旋转液环中，而在叶轮叶片距离壳体内壁最远的相对端部（显示朝向图 2 的底部）处，设置有流体出口 20。在使用中，蒸汽在高压下被喷射到流体入口 19 中，流体入口 19 连接到窄的室中的多个入口端口以便冲击叶轮叶片由此转动叶轮，并且在低压下从流体出口 20 射出。如此，蒸汽与液环中的液体接触，其中的一些可以与凝结的蒸汽从流体出口 20 喷出。更显著地，允许油经由液体出口 21 离开，液体出口 21 位于叶轮附近，以便确保叶轮叶片完全填充有液体，在该处，叶轮最靠近壳体内壁。液体出口 21 确保液环的深度不增加，由此占据室 15 中必须是空的空间，以允许蒸汽进入。为了确保液环中液体的体积被适当地调节，同样地设置有用于将液体泵送到汽轮机壳体 13 内的液体入口 22。液体入口 22 和液体出口 21 允许油位和油温被动态地控制。流体入口 19 和流体出口 20 都形成在叶轮 11 的静态轴向孔 23 内并且彼此流体分隔。

[0041] 在图 2 右侧的压缩区处，旋转液体径向流指向叶轮的静态轴向孔 23，在该处，液体用作活塞式压缩机。在图 2 的左侧，径向液体流是从中心至旋转壳体的并且构成膨胀区。

[0042] 在诸如 US 2009/0290993 中描述的 LRRC 压缩机中，气体从在接近压缩区的较低端处的中心管进入叶轮。

[0043] 与此相反，在图 2 所示的 LRRC 汽轮机 10 中，气体经由流体入口 19 进入叶轮的窄的室，并且之后在叶轮内侧朝向汽轮机叶片膨胀，在该处，室是大的。在此过程中，气体膨胀并且经历气体至液体的相改变，并且由此能够作为兰金循环热力发动机的工作流体运行，由此避免对压缩机的需求，在上述 US 2009/0290993 中压缩机是必须的。这需要工作流体诸如改变相，优选地在完成其有用功之后，于是其凝结并且排放。适当的工作流体是蒸汽。

[0044] 图 2 和 4 描绘了根据第一实施方式的 LRRC 蒸汽汽轮机 30，其中，蒸汽由诸如闪蒸蒸发器的蒸汽源 31 产生并且经由图 2 中显示为 19 的蒸汽入口供给到上述类型的具有由油形成的旋转液环的汽轮机 10。其在向下朝向汽轮机的膨胀区段的进程中在叶轮内侧膨胀。膨胀的蒸汽进入中心管 22，中心管 22 由此构成流体出口（在图 2 中的中心管的右侧由箭头描绘）。储存在容器 32 内的油通过泵 33 泵送到油加热器 34，并且加热的油喷射到图 2 中以 21 显示的液环流体入口内。从汽轮机的液体出口 21 离开的任何油都被允许补充容器 32 内的油。从汽轮机的流体出口 20 离开的蒸汽进入外部蒸汽冷凝器 35，其中，蒸汽在高压下被引入其流体入口中。诸如冷却塔 36 的冷水源借助于泵 37 将冷水喷洒到冷凝器 35 内，由

此使从汽轮机的流体出口 20 离开的蒸汽凝结。冷凝器中的水由于蒸汽的凝结而被加热，并且通过泵 38 泵送回冷却塔 36，在该处，热被散发到大气。冷凝器 35 必须在非常低的压力以下操作，以便确保有效凝结。为了保持低空气压力，任何进入冷凝器 35 且不能被冷凝的气体都被真空泵 39 移除。

[0045] 在一种优选实施方式中，液环由比水密度大且与水不融合的一种油形成，并且与蒸汽相比可以被保持在较高的温度下，以避免在液环上的蒸汽凝结。由于工作流体与液环内的油完全不融合，所以仅工作流体（例如，凝结的蒸汽）从流体出口 20 离开进入图 1 中的中央静态管 21 内。

[0046] 图 3 和 5 显示热力发动机 40 的另一实施方式，其中，以图 4 中显示的相同的附图标记表示共同特征并且以相似方式操作。来自冷却塔 36 的冷水通过泵 41 泵送，并且经由喷洒喷嘴 42（图 3 中显示）喷洒在汽轮机 10 内，并且用作蒸汽冷凝器，由此消除对图 4 中显示的外部冷凝器的需要。热水在油容器 32 处收集为水和稠密油的混合物，并且流至图 5 中显示的液体分离器 43，油从液体分离器 43 通过泵 44 泵送回到汽轮机并且热水通过泵 45 泵送回到冷却塔 36，在该冷却塔 36 处，热水被冷却并且作为冷水返回到图 3 中的冷水喷洒喷嘴 42。由诸如闪蒸器的蒸汽源 31 产生的蒸汽经由图 3 中以 19 显示的蒸汽入口供给到汽轮机 10。

[0047] 在该实施方式中，有三个到汽轮机的输入，因为附加入口 30 对于冷水喷洒是必需的，并且如应注意的，由此不需要外部冷凝器。同样不需要无论如何将通过蒸汽加热的油加热器。在液环中的液体比进来的工作流体冷的程度上，工作流体可能凝结在液环上。这明显是不希望的，因为处于其气体状态的工作流体用来驱动叶轮。另一方面，将理解的是，作为工作流体凝结的结果，液环中的液体被加热并且形成阻止进一步凝结的平衡状态。由此，相信水也可以用作液环。

[0048] 在上述的实施方式中，提出一种加热的液环以避免蒸汽的凝结，蒸汽的凝结会引起形成油 - 水乳状液的不希望的混合，这是不希望的。

[0049] 此外，转向图 2，蒸汽在汽轮机的向上左侧进入流体入口 19 并且加热与其接触的液环。加热的液环在当其接近汽轮机的较低端区段时开始旋转通过 2-3 弧度（接近 180°）的几毫秒过程中冷却。因此，蒸汽中的一部分被液环吸收并且不会产生轴功。

[0050] 基于这些原因，使用诸如浓盐水的干燥剂液环是更有效的，这避免了这些缺陷。如以前，蒸汽进入流体入口 19 并且，在遇到膨胀区中的干燥剂液环时，蒸汽凝结在液体界面上。水在液体浓盐水内的扩散是极其微小的（接近 $10^{-9} m^2/s$）并且浓盐水蒸汽界面处的水深度仅为几微米。在仅几毫秒的短时间间隔内，液环界面将面对低压蒸汽（在图 3 的较低端处）并且浓盐水液体界面处的水将蒸发成离开的蒸汽。因此，仅一小部分的蒸汽将与液环行进，并且大部分蒸汽将膨胀且产生有效功。

[0051] 本发明还设想一种使用上述汽轮机产生轴功的方法。

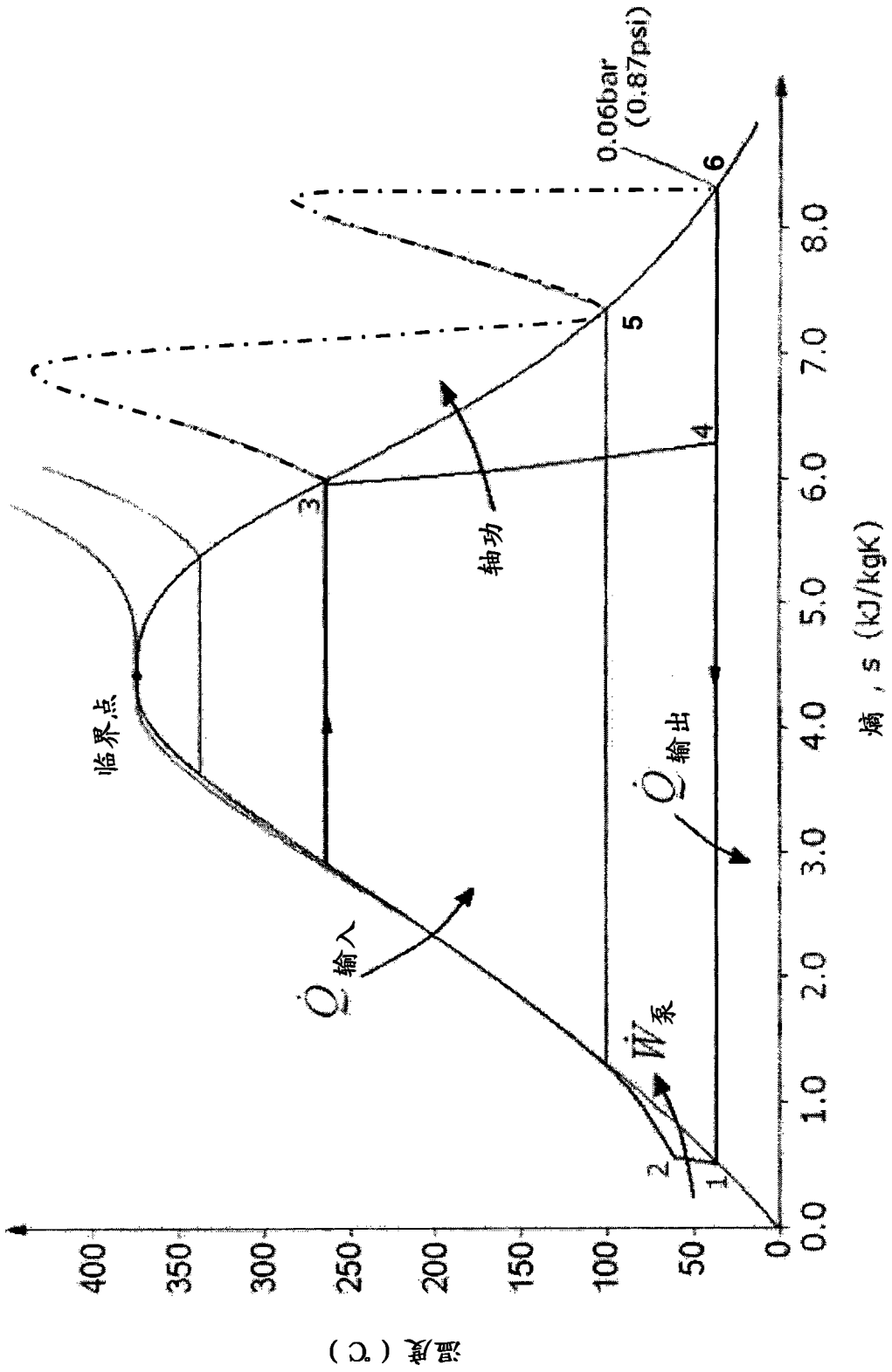

温度（℃）
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0.0
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
熵，s（kJ/kgK）
0.06bar
(0.87psi)
1
2
3
4
5
6
临界点
轴功
$\dot{Q}$ 输入
$\dot{W}$ 泵
$\dot{Q}$ 输出

图 1

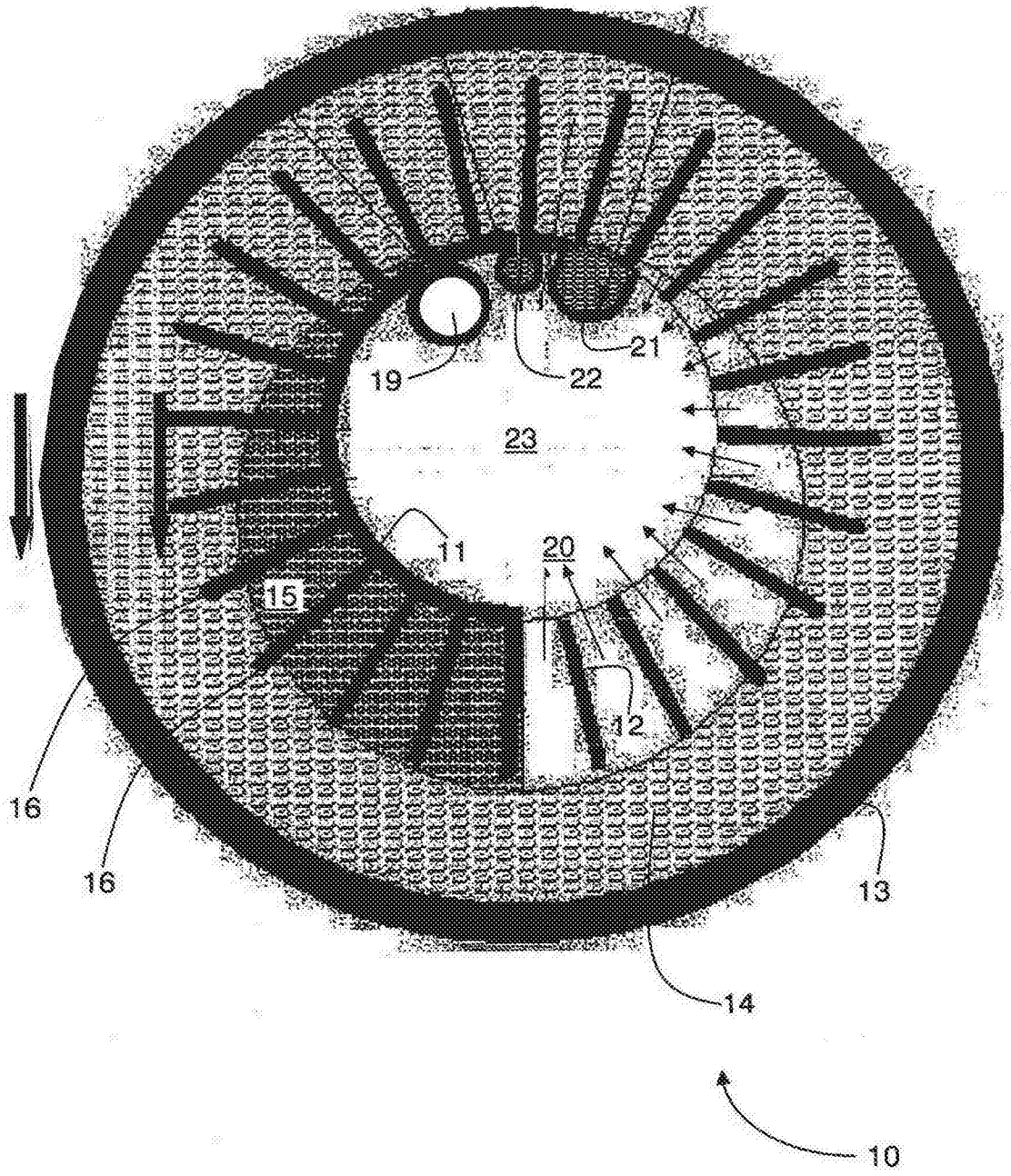


图 2

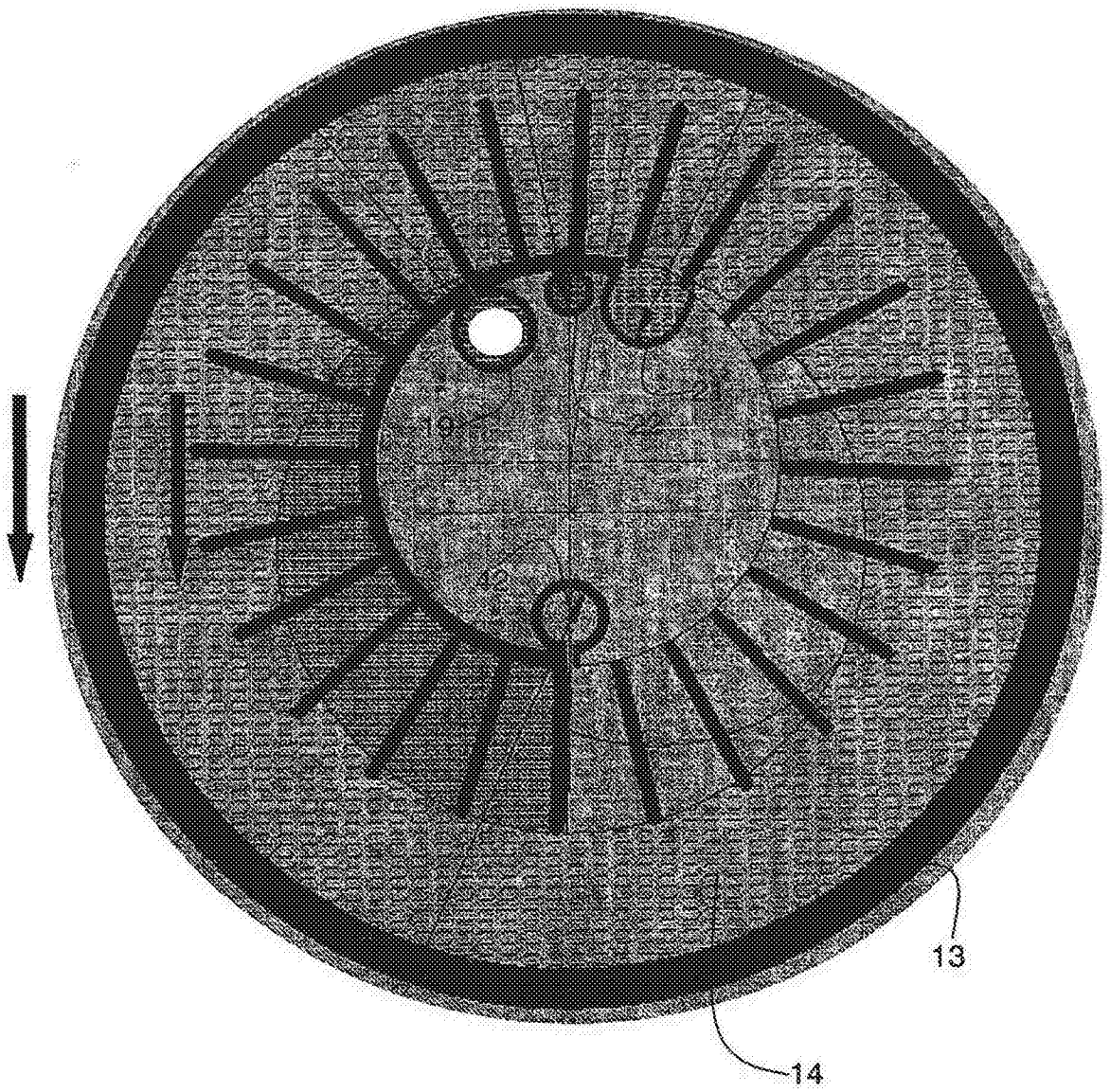


图 3

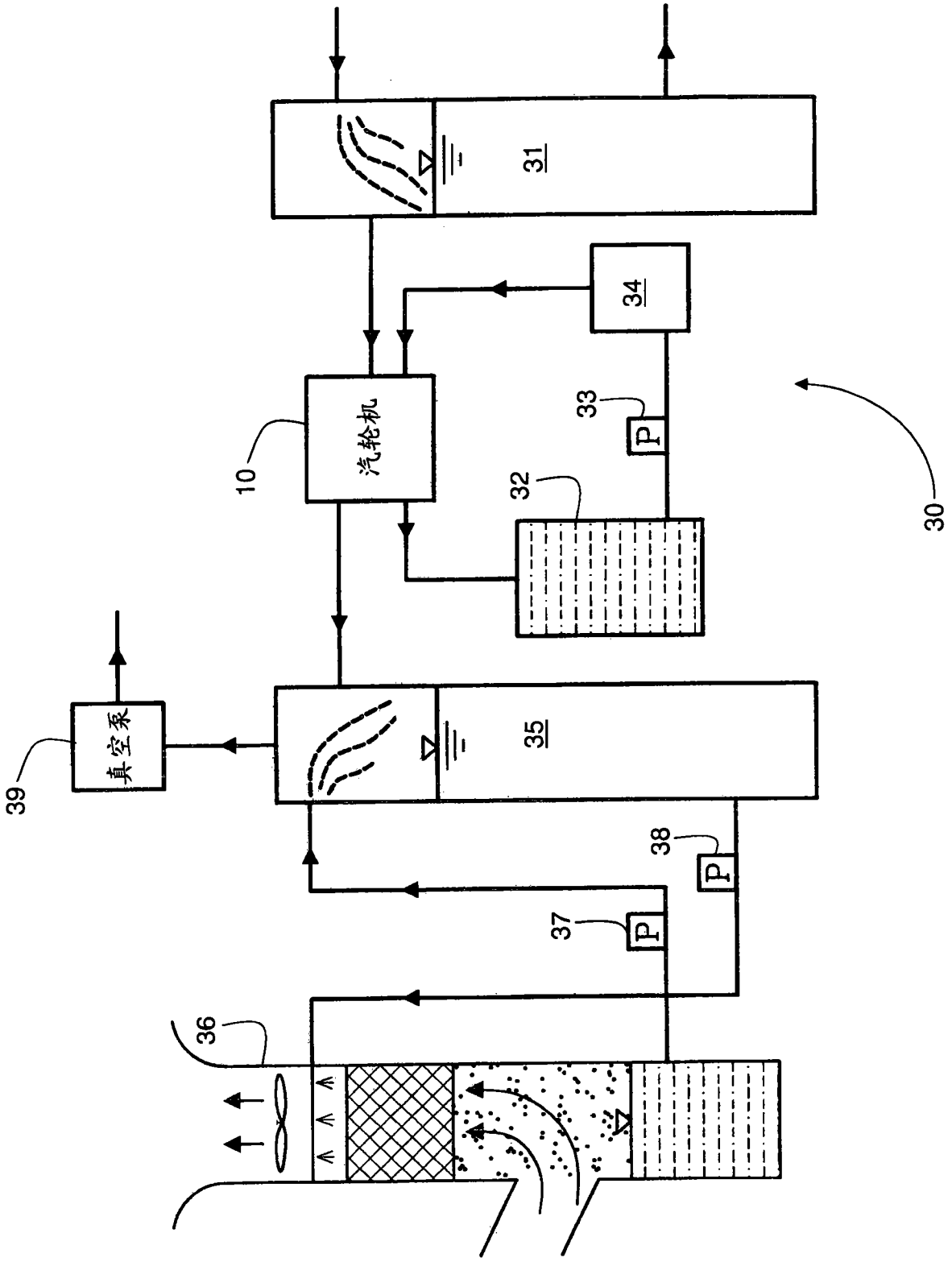


图 4

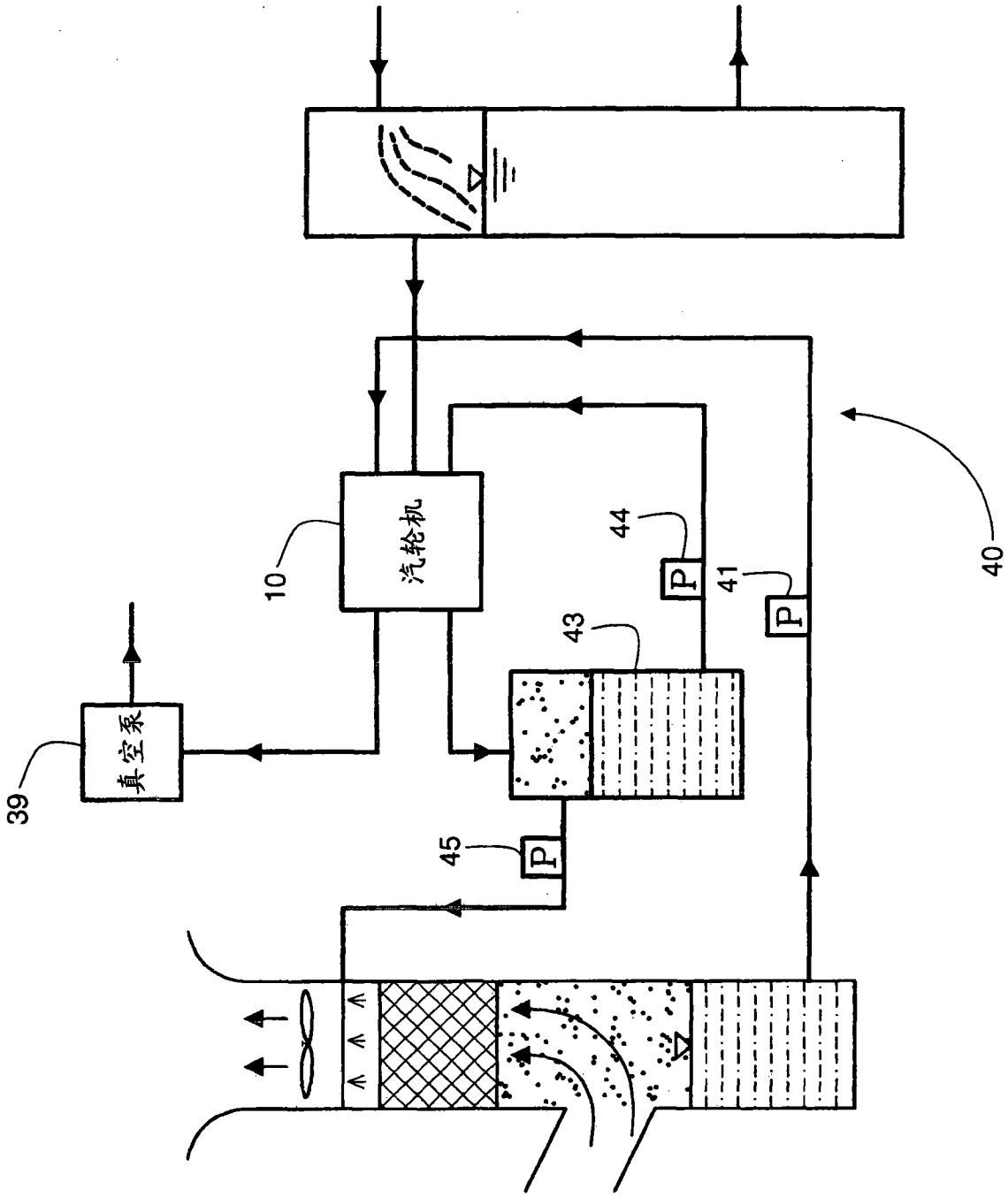


图 5

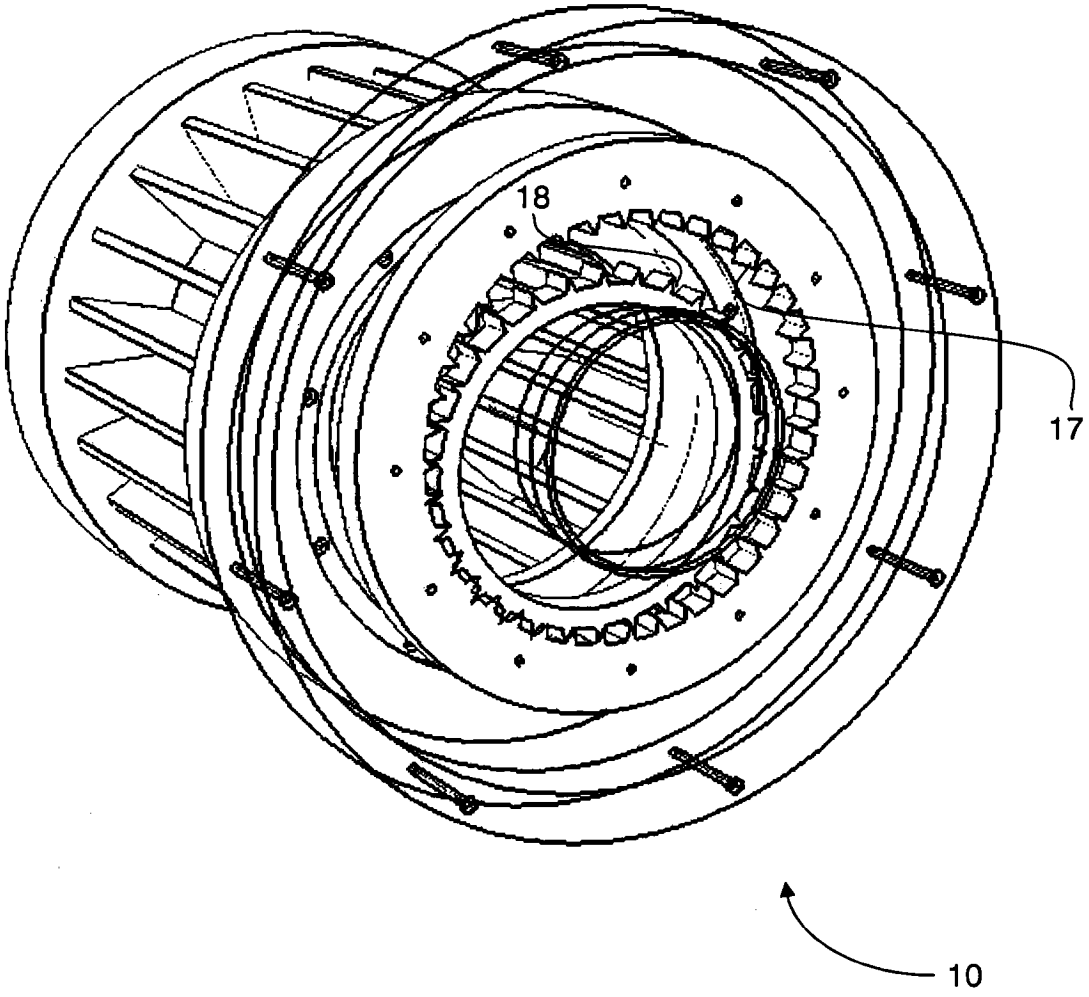


图 6