



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102330574 B

(45) 授权公告日 2015. 01. 14

(21) 申请号 201110149693. 7

(22) 申请日 2011. 05. 24

(30) 优先权数据

CO2010A000029 2010. 05. 24 IT

(73) 专利权人 诺沃皮尼奥内有限公司

地址 意大利佛罗伦萨

(72) 发明人 A·阿斯蒂 A·斯科蒂德格雷科

P·德图科 A·米里亚尼

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 严志军 谭祐祥

(51) Int. Cl.

F01D 17/16(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2004/0006994 A1, 2004. 01. 15,

CN 1720388 A, 2006. 01. 11,

US 5851104 A, 1998. 12. 22,

CN 1908405 A, 2007. 02. 07,

US 4028884 A, 1977. 06. 14,

GB 2133839 A, 1984. 08. 01,

审查员 刘京

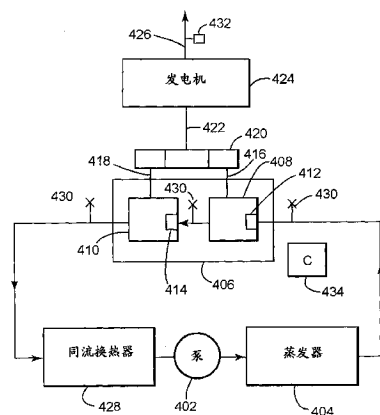
权利要求书2页 说明书7页 附图10页

(54) 发明名称

用于功率发生的系统和方法

(57) 摘要

本发明涉及用于涡轮膨胀机中的可变几何形状入口喷嘴的方法和系统,具体而言,提供了用于功率发生的方法和系统,其包括带有至少两个膨胀级的涡轮膨胀机,所述涡轮膨胀机连接在功率发生单元上。该系统包括控制器,其配置成控制(i) 设于涡轮膨胀机的第一膨胀级入口处的第一入口导向叶片的角度,以便将第一膨胀级的入口压力保持在预定的范围内,以及(ii) 设于涡轮膨胀机的第二膨胀级入口处的第二入口导向叶片的角度。控制器配置成从所确定的功率发生单元的功率确定最高功率和相应的第二入口导向叶片的角度,并独立于第一入口导向叶片的角度而调整第二入口导向叶片的角度以达到最高功率。



1. 一种用于功率发生的系统,包括带有至少两个膨胀级的涡轮膨胀机,所述涡轮膨胀机连接在功率发生单元上,所述系统包括:

控制器,其配置成控制 (i) 设于所述涡轮膨胀机的第一膨胀级的入口处的第一入口导向叶片的角度,以便将所述第一膨胀级的入口压力保持在预定的范围内,以及 (ii) 设于所述涡轮膨胀机的第二膨胀级的入口处的第二入口导向叶片的角度,以便将所述第一膨胀级处的入口压力保持在预定的范围内;

所述控制器配置成改变所述第二入口导向叶片的角度,同时保持所述第一入口导向叶片的角度固定,并针对相应变化的角度而确定由所述功率发生单元产生的功率;且

所述控制器配置成从所确定的所述功率发生单元的功率确定最高功率和所述第二入口导向叶片的相应的角度,并独立于所述第一入口导向叶片的角度而调整所述第二入口导向叶片的角度以达到所述最高功率。

2. 根据权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述系统还包括:

所述涡轮膨胀机的所述第一膨胀级,其包括所述第一入口导向叶片;

所述涡轮膨胀机的第二膨胀级,其包括所述第二入口导向叶片;且

所述功率发生单元机械地连接在所述涡轮膨胀机的所述第一膨胀级和所述第二膨胀级上。

3. 根据权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述功率发生单元在兰金循环系统中运转,所述兰金循环系统使用有机兰金工作流体。

4. 根据权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述系统还包括:

连接在所述控制器上的一个或多个传感器,其设于所述功率发生单元上,并配置成测量由所述功率发生单元产生的电流或电压;

连接在所述控制器上的一个或多个传感器,其设于所述功率发生系统中,并配置成测量工作流体的压力;

冷凝器,其流体地连接在所述涡轮膨胀机的输出侧上,并构造成接收膨胀的蒸气流并将所述蒸气流冷凝成液体流;

泵,其流体地连接在所述冷凝器的输出侧上,并构造成接收所述液体流,对所述液体流加压,并使所述液体流循环至热交换器;和

热交换器,其流体地连接在所述泵的输出侧上,并构造成接收所述加压的液体流,并使所述加压的液体流蒸发成加压的蒸气流。

5. 根据权利要求 1 所述的系统,其特征在于,为所述第一膨胀级和所述第二膨胀级而提供所述控制器。

6. 根据权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述控制器配置成当将所述第一膨胀级处的入口压力调整在预定的范围内时,在所述第一入口导向叶片的角度和所述第二入口导向叶片的角度之间保持预定的关系,并且所述预定的关系是 $A_2 = A_1 \cdot f(P_1, P_2, T_1, T_2)$, 其中 A_1 是在所述第一入口导向叶片处不被叶片阻塞的流体入口的面积, A_2 是在所述第二入口导向叶片处不被叶片阻塞的流体入口的面积, P_1 是在所述第一入口导向叶片处的工作流体的压力, P_2 是在所述第二入口导向叶片处的工作流体的压力, T_1 是在所述第一入口导向叶片处的工作流体的温度, T_2 是在所述第二入口导向叶片处的工作流体的温度, 并且 f 是函数。

7. 根据权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述控制器配置成当将所述第一膨胀级

处的入口压力调整在预定的范围内时,在所述第一入口导向叶片的角度和所述第二入口导向叶片的角度之间保持预定的关系,并且所述预定的关系是 $\frac{A_1}{A_{t1}} = \frac{A_2}{A_{t2}}$, 其中 A_1 是在所述第一入口导向叶片处不被叶片阻塞的流体入口的面积, A_2 是在所述第二入口导向叶片处不被叶片阻塞的流体入口的面积, A_{t1} 是在所述第一入口导向叶片处的叶片流体入口的总面积, 并且 A_{t2} 是在所述第二入口导向叶片处的叶片第二流体入口的总面积。

8. 根据权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述控制器配置成当将所述第一膨胀级处的入口压力调整在预定的范围内时,在所述第一入口导向叶片的角度和所述第二入口导向叶片的角度之间保持预定的关系,并且所述预定的关系是 $A_2 = A_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$, 其中 A_1 是在所述第一入口导向叶片处不被叶片阻塞的流体入口的面积, A_2 是在所述第二入口导向叶片处不被叶片阻塞的流体入口的面积, ρ_1 是在所述第一入口导向叶片处的工作流体的密度, ρ_2 是在所述第二入口导向叶片处的工作流体的密度, T_1 是在所述第一入口导向叶片处的工作流体的温度, 并且 T_2 是在所述第二入口导向叶片处的工作流体的温度。

9. 根据权利要求 1 所述的系统,其特征在于,确定所述最高功率是通过在保持所述第一入口导向叶片的角度恒定的同时,在预定的时间周期上反复地调整所述第二入口导向叶片的角度并针对各个调整的特定角度测量所述功率发生单元的功率输出而执行的。

10. 一种用于功率发生的方法,包括带有至少两个膨胀级的涡轮膨胀机,所述涡轮膨胀机连接在功率发生单元上,所述方法包括:

控制 (i) 所述涡轮膨胀机的第一膨胀级中的第一入口导向叶片的角度,以便将所述第一膨胀级的入口压力保持在预定的范围内,以及 (ii) 所述涡轮膨胀机的第二膨胀级中的第二入口导向叶片的角度,以便将所述第一膨胀级的入口压力保持在预定的范围内;

在保持所述第一入口导向叶片的角度固定的同时改变所述第二入口导向叶片的角度;

针对相应变化的角度确定由所述功率发生单元产生的功率;

确定由所述功率发生单元产生的功率的最高功率以及相应的所述第二入口导向叶片的角度;且

独立于所述第一入口导向叶片的角度调整所述第二入口导向叶片的角度,以达到所述最高功率。

用于功率发生的系统和方法

技术领域

[0001] 本文公开的主题实施例一般地涉及功率发生系统,且更特别地涉及涡轮膨胀机。

背景技术

[0002] 兰金循环在闭式循环中使用工作流体,以便收集来自加热源或储热器中的热量,并产生通过涡轮而膨胀的热气流,从而产生功率。膨胀流在冷凝器中通过将热量传递给储冷器而冷凝,并且再次用泵加压至加热压力从而完成循环。功率发生系统例如燃气轮机或往复式发动机(初级系统)产生热的排气,其或者用于后续功率生产过程(通过次级系统)或作为废热损失于环境中。例如可在废热回收系统中回收大型发动机的排气,用于生产额外的功率,从而提高整个系统效率。图 1 中显示了在兰金循环中操作的普通废热功率发生系统。

[0003] 功率发生系统 1 包括热交换器 2(也被称为锅炉或蒸发器)、涡轮膨胀机 4、冷凝器 6 和泵 8。在操作过程中,从热交换器 2 开始,外部热源 10(例如热的烟道气)加热热交换器 2。这造成所接收的加压液体介质 12 转化成加压蒸气 14,其流向涡轮膨胀机 4。涡轮膨胀机 4 接收加压蒸气 14,并可随着加压蒸气膨胀而产生功率 16。由涡轮膨胀机 4 释放的膨胀的低压蒸气 18 进入冷凝器 6,冷凝器 6 使膨胀的低压蒸气 18 冷凝成低压液体流 20。然后低压液体流 20 进入泵 8,泵 8 产生高压液体流 12,并保持闭环系统流动。然后高压液体流 12 流入热交换器 2 中,以继续该过程。

[0004] 可用于兰金循环中的一种工作流体是有机工作流体。此类有机工作流体被称为有机兰金循环(ORC)流体。ORC 系统已经作为用于发动机的改型以及小型和中型燃气轮机而被部署,用于捕获来自热烟道气流的废热。此废热可用于次级功率发生系统中,从而在由产生热的烟道气的发动机单独传送的功率之上还产生高达额外 20% 的功率。

[0005] 因为此类碳氢化合物流体如果直接暴露于高温(~500 摄氏度)燃气轮机排气流下会降解和/或点燃的问题,需要采取措施以限制包含 ORC 工作流体的蒸发器中的热交换表面的表面温度。当前用于限制包含 ORC 工作流体的蒸发器中的热交换表面的表面温度的方法是将中间热油环路引入到热交换系统中,即避免 ORC 液体循环而穿过燃气轮机的排气管道。在热的烟道气和可蒸发的 ORC 流体之间可使用中间热油环路作为中间热交换器的一部分。

[0006] 如上所述,在功率发生系统中使用了涡轮膨胀机 4。涡轮膨胀机 4 可以是离心式或轴流式涡轮,通过该涡轮使高压气体膨胀,从而产生功,该功可用于产生功率。图 2 和图 3 中显示了涡轮膨胀机 4 的一部分的示例,其由美国专利 No. 5,841,104(‘104 专利)复制而来,其整个内容通过引用而结合在本文中。图 2 显示了径向内流式涡轮机中的可变喷嘴装置。径向内流式涡轮机具有带环形入口 104 的外壳 102。固定环板 106 定位在环形入口 104 的一侧。喷嘴调整系统设于环形入口 104 的另一侧。调整环 108 布置在夹紧环 110 的径向外侧。调整环 108 能够围绕夹紧环 110 而旋转,而锚定在固定环板 106 中的喷嘴枢轴 112 防止夹紧环旋转。

[0007] 叶片 114 定位在环形入口 104 周围。这些叶片定位在一侧的固定环板 106 和另一侧的夹紧环 110 和调整环 108 之间。叶片 114 构造成在它们之间提供流线型流动路径。该路径在横截面积上可基于叶片 114 的旋转位置而增加或减少。叶片 114 枢转地安装在喷嘴枢轴销 112 周围。在图 3 中以重迭的虚影显示了叶片 114 相对于夹紧环 110 的相对位置。

[0008] 在 ‘104 专利中, 喷嘴调整机构包括凸轮和凸轮随动件机构。如图 3 中所示, 凸轮随动件 116 从销 112 的轴线侧向移动, 并被轴固定在叶片 114 中。凸轮随动件 116 围绕轴自由地旋转。为了与凸轮随动件 116 协作, 在调整环 108 中布置了呈偏压槽 118 形式的凸轮。它们尺寸设置成容纳凸轮随动件 116, 从而在调整环 108 旋转时容许自由滚动运动。叶片 114、凸轮随动件 116、偏压槽 118 和调整环 108 的此布置使得叶片 114 的开度线性地依赖于调整环 108 的旋转。所以通过调整叶片 114, 可控制容许进入涡轮膨胀机 4 中的流体数量。

[0009] 在一些情况下, 涡轮膨胀机 4 可具有多个膨胀级, 并且各级具有一组入口导向叶片 114 以控制流体流。然而, 控制多个膨胀级中的叶片 114 可能改变功率发生系统中的各种参数, 这在传统的功率发生系统中可能导致困难, 例如不能在优化功率输出效率时调整系统压力。

[0010] 因此用于更有效地操作功率发生系统的系统和方法是所期望的。

发明内容

[0011] 根据一个示例性实施例, 用于功率发生的系统包括带有至少两个膨胀级的涡轮膨胀机, 该涡轮膨胀机连接在功率发生单元上。该系统包括控制器, 其配置成控制 (i) 设于涡轮膨胀机的第一膨胀级入口处的第一入口导向叶片的角度, 以便将第一膨胀级的入口压力保持在预定的范围内, 和 (ii) 设于涡轮膨胀机的第二膨胀级入口处的第二入口导向叶片的角度, 以便将第一膨胀级的入口压力保持在预定的范围内。控制器配置成改变第二入口导向叶片的角度, 同时保持第一入口导向叶片的角度固定, 并针对相应变化的角度而确定由功率发生单元产生的功率。控制器配置成从所确定的功率发生单元的功率确定最大功率和相应的第二入口导向叶片的角度, 并独立于第一入口导向叶片的角度而调整第二入口导向叶片的角度以达到最大功率。

[0012] 根据另一示例性实施例, 用于功率发生的方法包括带有至少两个膨胀级的涡轮膨胀机, 该涡轮膨胀机连接在功率发生单元上。该方法包括控制 (i) 涡轮膨胀机的第一膨胀级中的第一入口导向叶片的角度, 以便将第一膨胀级的入口压力保持在预定的范围内, 和 (ii) 涡轮膨胀机的第二膨胀级中的第二入口导向叶片的角度, 以便将第一膨胀级的入口压力保持在预定范围内的步骤; 在保持第一入口导向叶片角度固定的同时改变第二入口导向叶片角度的步骤; 针对相应变化的角度确定由功率发生单元产生的功率的步骤; 确定由功率发生单元产生的最大功率和相应的第二入口导向叶片角度的步骤; 以及独立于第一入口导向叶片的角度之外调整第二入口导向叶片的角度以达到最大功率的步骤。

[0013] 根据又另一示例性实施例, 存在包括计算机可执行指令的计算机可读介质, 其中该指令在执行时事实一种用于功率发生的方法, 其包括带有至少两个膨胀级的涡轮膨胀机, 该涡轮膨胀机连接在功率发生单元上。该方法的步骤类似于之前段落中所描述的那些步骤。

附图说明

- [0014] 附图显示了示例性实施例,其中:
- [0015] 图 1 描绘了兰金循环;
- [0016] 图 2 显示了径向内流式涡轮机中的可变喷嘴装置;
- [0017] 图 3 显示了涡轮膨胀机中的叶片相对于夹紧环的相对位置;
- [0018] 图 4 显示了根据示例性实施例的兰金循环;
- [0019] 图 5 显示了根据示例性实施例的涡轮膨胀机的膨胀级的入口导向叶片部分;
- [0020] 图 6-8 描绘了根据示例性实施例的入口导向叶片相对流体开度的各种位置;
- [0021] 图 9 显示了根据示例性实施例的控制系统的元件;
- [0022] 图 10 显示了根据示例性实施例的用于功率发生方法的流程图;
- [0023] 图 11 描绘了根据示例性实施例的可用作功率发生系统的控制器的装置;和
- [0024] 图 12 显示了根据示例性实施例的用于功率发生方法的另一流程图。

具体实施方式

[0025] 以下示例性实施例的详细描述参考附图。不同图纸中的相同的标号标识相同或相似的元件。另外,图纸并不一定按比例绘制。同样,以下详细描述并不限制本发明。相反,本发明的范围由所附权利要求来限定。

[0026] 整个说明书中对“某一实施例”或“一个实施例”的表述意味着结合实施例所述的特殊的特征、结构或特性包含在本公开主题的至少一个实施例中。因而,短语“在某一实施例中”或“在一个实施例中”出现在整个说明书的各个地方并不一定都指相同的实施例。此外,在一个或多个实施例中可将特殊的特征、结构或特性以任何合适的方式组合。

[0027] 如背景技术中所述和图 1 中所示,在功率发生系统中可使用兰金循环来捕获一部分废热能量。根据示例性实施例,带有多个膨胀级的涡轮膨胀机可容许功率发生系统在较高的压力下(或在较高的期望压力范围内)操作,同时优化例如发电机的功率输出效率。现在将参照图 4 描述一种用于功率发生的示例性系统(其中出于简单和简洁的目的已经除去了传统兰金系统的一些构件),其中有此类示例性涡轮膨胀机。然而,根据示例性实施例,针对兰金循环所述且图 1 中所示的构件可用于相似的功率发生单元中,该功率发生单元使用下述示例性涡轮膨胀机和控制系统。

[0028] 最初,通过泵 402 对系统加压,并且使工作流体在闭环兰金循环系统中循环(以箭头所示的方向)。工作流体,例如 ORC 流体被泵送至蒸发器 404,在此处使工作流体蒸发。此加压的蒸气然后去向涡轮膨胀机 406,涡轮膨胀机 406 具有第一膨胀级 408 和第二膨胀级 410。在一种应用中,可使用多个膨胀器(物理上彼此分离)而不是具有多级的单个膨胀器。本文论述的新颖的特征适用于多个膨胀器或具有多级的单个膨胀器。第一膨胀级 408 包括入口导向叶片 412,其调整进入第一膨胀级 408 的加压蒸气的数量/速率。加压的蒸气在膨胀期间消耗一些能量,并移动至第二膨胀级 410,通过另一入口导向叶片 414 而进入第二膨胀级 410,该入口导向叶片也调整进入第二膨胀级 410 的蒸气的数量/速率。

[0029] 当蒸气在膨胀级 408 和 410 中膨胀时执行了做功,这使它们连接在齿轮箱 420 上的相应的轴 416,418 旋转。单个轴 422 将齿轮箱 420 连接到发电机 424 上。然后从发电机

424 输出功率 426。

[0030] 返回图 4 的兰金循环部分,膨胀的蒸气离开第二膨胀级 410,并离开涡轮膨胀机 406 而去向同流换热器 428,同流换热器 428 容许工作流体的热交换。工作流体然后在去向泵 402 的途中经历兰金循环的其它步骤(未显示)以重复循环。传感器 430 代表压力监测传感器,并且传感器 432 代表用于监测功率输出效率的一个或多个传感器(例如电流和/或电压传感器)。控制器 434 控制功率发生系统的设定值。

[0031] 图 5 中显示了入口导向叶片 412 的一个示例。可变几何形状入口导向叶片 502 可设置在各种位置或角度上,它们可变化以控制进入膨胀级的工作流体的流量。另外,根据示例性实施例,通过控制叶片 502 的位置,可调整压力 P_1 (图 4 中所示)以使其处于较高的最大范围内。出于简单起见,图 6-8 显示了单个叶片 502 相对于相应的流体入口 602 的不同位置。 A_1 代表流体入口 602 的开口面积,并且 A_{01} 代表被可变几何形状入口导向叶片 502 阻塞的流体入口 602 的面积。图 6 显示了完全打开的流体入口 602,图 7 显示了部分打开的流体入口 602,而图 8 显示了完全阻塞的流体入口 602。虽然在图 6-8 中只显示了三个位置,但是叶片 502 的其它角度位置也是可能的。另外叶片 502 相对于流体入口 602 的各种位置创造了可变几何形状入口喷嘴,便于流体进入涡轮膨胀机 406 的膨胀部分。

[0032] 根据示例性实施例,如上所述,控制器 434 可控制设定值、参数、软件以及与功率发生系统相关联的其它控制装置。图 9 中显示了各种控制元件和示例性通信线路,包括控制器 434。其它控制装置可包括功率传感器 432,其可用于从相关联的功率发生单元例如发电机收集电流、电压和/或其它功率相关的信息。压力传感器 430 可用于从发电循环中的各种位置收集压力数据。

[0033] 如图 9 中所示,在功率发生系统中还可使用其它控制设备 902。这些控制元件都可与控制器 434 通信,然而还可能存在其它通信线路,例如在控制元件之间可能存在备用通信线路或其它直接线路。控制器 434 还与涡轮膨胀机 406 以及用于入口导向叶片 412 和 414 的控制装置通信。这容许控制器 434 发布指令,以便改变入口导向叶片 412 和 414 的角度。虽然控制器 434 显示为单一单元,但是在系统中可存在多个控制器 434,且根据需要 will 职责分散于这些单元中。另外,本文所述的示例性实施例可被控制器 434 执行,其与另一件设备,例如涡轮膨胀机 406 的控制装置集成一体。

[0034] 根据示例性实施例,使用上述示例性系统和控制元件,在两级(或多级)涡轮膨胀机中的系统和方法可具有第一膨胀级,其将兰金循环的较高压力调整在压力范围内,使得第二膨胀级可自身调整而自动地发现与来自例如相关联的功率发生系统中的发电机的最大功率输出相关的最佳膨胀比。根据示例性实施例,此示例性过程可在功率发生系统以部分负载运转时执行,从而改善功率输出。如后面将更详细论述的那样,对于涡轮膨胀机的某些状态(阻塞状态),膨胀器的效率直接与涡轮膨胀机驱动的发电机的功率输出成比例。此过程可如图 10 的流程图中所示而执行。最初在步骤 1002 中功率发生系统运转,并且当工作流体进入涡轮膨胀机的第一膨胀级的入口导向叶片 412 时具有工作流体的压力的初始值 P_1 。入口导向叶片 412 在步骤 1004 中调整气体流量,以便获得和保持期望的 P_1 设定值,例如 50 巴,其在期望的范围内,例如 ± 1 或 ± 0.5 巴的范围内。

[0035] 根据示例性实施例,通过例如控制器 434 调整入口导向叶片 412,从而调整叶片的角度,以便获得期望的压力 P_1 ,其可由例如设备最佳性能参数来确定或设定。虽然入口导向

叶片 412 为第一级调整气体流量,但如步骤 1006 中所示,入口导向叶片 414 也为第二级调整气体流量。入口导向叶片 414 以后面所述的方式调整气体流量,以便在入口导向叶片 412 调整气体流量的同时不破坏系统压力。这防止了入口导向叶片 412 总是改变叶片的角度,从而在预定的窗口中获得和保持期望的 P_1 值。如步骤 1008 中所示,一旦 P_1 落在以设定值为中心的区域内,就使入口导向叶片 412 固定,并且入口导向叶片 414 开始动态地调整穿过涡轮膨胀机第二级的气体流量,从而使涡轮膨胀机的膨胀效率最大化。膨胀效率的此最大化涉及最大化相关联的发电机 426 的功率输出。如本文中所用,涡轮膨胀机的膨胀效率以如下等式 (1) 描述。

[0036] 膨胀效率 = 发电 / 焓流率 (1)

[0037] 其中当入口导向叶片 412 固定并且涡轮膨胀机被阻塞时,焓流率变为常数。注意当涡轮膨胀机被阻塞时,恒定质量流过该装置。出于计算简单起见,涡轮膨胀机的两个级都被认为是阻塞的。因为焓流率在阻塞条件下是恒定的,所以涡轮膨胀机的膨胀效率与相关联的发电机的发电成比例。

[0038] 假定入口导向叶片 412 是固定的,入口导向叶片 414 被控制成扫过各种叶片角度,从而改变功率发生的功率输出。此功率输出经过测量,并且在一种应用中储存于数据库中。控制器 434 通过从入口导向叶片 414 中的叶片初始角度起点上下扫掠而检查最大功率输出点,并捕获用于各个叶片位置的数据。根据一个示例性实施例,此扫掠可发生在大约 20 秒内,然而根据需要可使用其它时间帧。对于叶片的各个角度位置,如步骤 1010 中所示确定发电机 424 的功率输出。如果该确定导致达到非最大功率,则重复该过程,否则结束该过程,且入口导向叶片 414 的叶角变为固定。在一种应用中,控制器 434 从数据库确定入口导向叶片 414 的哪个角度使发电机 424 的功率输出最大化,并由此设定入口导向叶片 414 的角度。根据需要可长时间重复并复查此扫掠过程。另外,如果 P_1 由于系统变化例如负载变化而落在期望范围之外,其可能影响工作流体的温度和压力,那么可重复图 10 的流程图中所示的整个过程。在一种应用中,如果 P_1 落在期望范围之外,入口导向叶片 414 构造成放弃使涡轮膨胀机 406 的效率最大化的角度,并且跟随入口导向叶片 412 直至将 P_1 带入期望的范围。

[0039] 根据示例性实施例,针对调整其相应的气体流量的不同阶段可使用各种算法来描述在入口导向叶片 412 和入口导向叶片 414 之间的关系。以下所述算法中所使用的假设包括使用为一的马赫数,而且系统在阻塞条件下运转。根据一个示例性实施例,当入口导向叶片 412 首先开始调整气体流量(或刚好在其开始调整气体流量之前)以进入期望的压力范围内时,在两级之间的函数关系可如等式 (2) 中所示描述:

[0040] $A_2 = A_1 \cdot f(P_1, P_2, T_1, T_2)$, (2)

[0041] 其中 A_1 是在入口导向叶片 412 处不被叶片阻塞的流体入口的面积(见图 7), A_2 是在入口导向叶片 414 处不被叶片阻塞的流体入口的面积(未显示但类似于图 7 中的 A_1), P_1 是在第一入口导向叶片级 412 处的工作流体的压力, P_2 是在入口导向叶片 414 处的工作流体的压力, T_1 是在入口导向叶片 412 处的工作流体的温度,并且 T_2 是在入口导向叶片 414 处的工作流体的温度。

[0042] 根据另一示例性实施例,当入口导向叶片 412 首先开始调整(或刚好在其开始调整之前)以进入期望的压力范围内时,这两级之间的关系可如等式 (3) 中所示描述。

$$[0043] \quad \frac{A_1}{A_{t1}} = \frac{A_2}{A_{t2}}, \quad (3)$$

[0044] 其中 A_{t1} 是在入口导向叶片 412 处穿过叶片的流体入口的总面积（见图 7 中的 $A_1 + A_{01}$ ），并且 A_{t2} 是在入口导向叶片 414 处穿过叶片的流体入口的总面积（未显示但类似于图 7 中的 A_{t1} ）。

[0045] 根据另一示例性实施例，当入口导向叶片 412 调整气体流量以进入期望的压力范围内时，在入口导向叶片 412 和入口导向叶片 414 之间的关系被确立，使得入口导向叶片 414 实际上不影响进入入口导向叶片 412 的气体流的压力。对于这种情形，基于等式 (4) 将入口导向叶片 414 设置为跟随入口导向叶片 412：

$$[0046] \quad A_2 = A_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}, \quad (4)$$

[0047] 其中 ρ_1 是在入口导向叶片 412 处的工作流体的密度，并且 ρ_2 是在入口导向叶片 414 处的工作流体的密度。

[0048] 根据另一示例性实施例，当入口导向叶片 412 已经调整气体流量以具有期望压力范围内的压力并且该压力稳定时，入口导向叶片 412 的角度被固定，并且只调整入口导向叶片 414 的角度，直至使涡轮膨胀机 406 的效率最大化。因而，入口导向叶片 414 变成不依赖于入口导向叶片 412，并且用于入口导向叶片 414 的未阻塞的流体入口的面积 A_2 如等式 (5) 所述：

$$[0049] \quad A_2 = \frac{m}{\sqrt{k} \cdot \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{1}{2} \cdot (k+1)} \cdot \rho_2 \sqrt{R \cdot T_2}}, \quad (5)$$

[0050] 其中 k 是气体的等熵系数， m 是工作流体的质量流率，并且 R 是气体常数。从这点出发，入口导向叶片 414 可上下扫遍各种角度以确定发电机 424 的最大功率输出点，其如上所述与最大化涡轮膨胀机 406 的膨胀效率相关联。由控制器 434（或其中一个相关联的控制元件）控制的扫掠过程保持在一定的范围内，从而不容许 P_1 离开预定的范围。然而，如果 P_1 离开预定的（期望）范围，则用于入口导向叶片 414 的扫掠过程被挂起，并且入口导向叶片 412 开始调整气体流量，以使 P_1 达到预定的范围。指示膨胀器效率的各种用于入口导向叶片 414 的角度值和测量变量可储存在存储器中。在完成扫掠过程之后，控制器 434 可比较储存的值，并选择使涡轮膨胀机 406 的膨胀效率最大化的值，并且将入口导向叶片 414 的值设置为具有所选择的值。

[0051] 根据一个备选的示例性实施例，涡轮膨胀机 406 可具有不止两个膨胀级，且至少一个膨胀级调整系统压力，而另一膨胀级使功率效率最大化。

[0052] 根据示例性实施例，通过利用第一膨胀级 408 的入口导向叶片 412 来调整压力，因而当工作流体进入第一膨胀级 408 时不需要专用的阀门与工作流体协同来控制系统压力。另外，在功率发生系统的操作条件发生变化，例如部分负载和变化的环境温度的情形中可使用示例性实施例。

[0053] 根据示例性实施例，可用于兰金循环中的一种工作流体是 ORC 流体。ORC 流体的示

例包括但不限于戊烷、丙烷、环己烷、环戊烷、丁烷、氟代烃例如 R-245f、以及酮例如丙酮、或芳香族化合物例如甲苯或噻吩。然而，如背景技术部分提到的那样，当直接暴露于高温下时存在 ORC 流体降解的风险。因此根据示例性实施例，在使用示例性涡轮膨胀机 406 的功率发生系统中可使用中间热油环路或另一种流体。

[0054] 上述示例性实施例提供了用于调整兰金循环中较高压力，并且随后使例如发电机 426 的功率输出效率最大化的方法和系统。控制器 434(如图 11 中所示)可包含处理器 1102(或多个处理器核心)、存储器 1104、一个或多个次级存储装置 1106、通信接口 1108 和软件应用 1110。处理器 1102 可执行指令，用于执行本文所述的示例性实施例。另外，处理器 1102 可包括在支持功率发生系统的运转和控制过程中用于执行的指令。存储器 1104 可储存这些指令以及传感器信息和由扫掠叶片而获得的结果。另外，在控制器 434 内还可储存与 P_1 相关联的信息和压力范围等。软件应用 1110 可代表与本文所述的示例性实施例相关联的程序以及与功率发生系统相关联的程序。通信接口 1108 可与传感器、其它控制器等通信，从而操作功率发生系统，并传送与改变入口导向叶片角度相关联的指令。因此，上述示例性实施例可被控制器 434 控制。

[0055] 根据示例性实施例，如图 12 的流程图中所示，用于功率发生的方法包括带有至少两个膨胀级的涡轮膨胀机。该方法包括控制 (i) 涡轮膨胀机的第一膨胀级中的第一入口导向叶片的角度，以便将第一膨胀级的入口压力保持在预定的范围内，和 (ii) 涡轮膨胀机的第二膨胀级中的第二入口导向叶片的角度，以便将第一膨胀级的入口压力保持在预定范围内的步骤 1200；在保持第一入口导向叶片角度固定的同时改变第二入口导向叶片角度的步骤 1202；针对相应变化的角度确定由功率发生单元产生的功率的步骤 1204；确定由功率发生单元产生的最高功率和相应的第二入口导向叶片角度的步骤 1206；以及独立于第一入口导向叶片的角度调整第二入口导向叶片的角度以达到最高功率的步骤 1208。

[0056] 上述示例性实施例在本发明的所有方面都意在为说明性的而非限制性的。因而本发明在详细实施方式方面能够具有许多变化，其可从包含在本文的细节描述中由本领域技术人员推导衍伸而来。所有此类变化和修改都被认为处于所附权利要求书所限定的精神和范围内。除非明确地描述，否则本申请的细节描述中使用的要素、动作或指令都不应被理解为本发明是至关重要或是必须的。另外，本文使用的用词“一”意图包括一个或多个事物。

[0057] 本文使用示例来公开本发明，包括最佳模式，并且还使本领域技术人员能够实践本发明，包括制造和利用任何装置或系统，并执行任何所结合的方法。本发明可获得专利的范围由权利要求限定，并且可包括本领域中的技术人员想到的其它示例。如果这些其它示例具有并非不同于权利要求字面语言的结构元件，或者如果其包括权利要求字面语言内的等效的结构元件，则这些其它示例都属于权利要求的范围内。

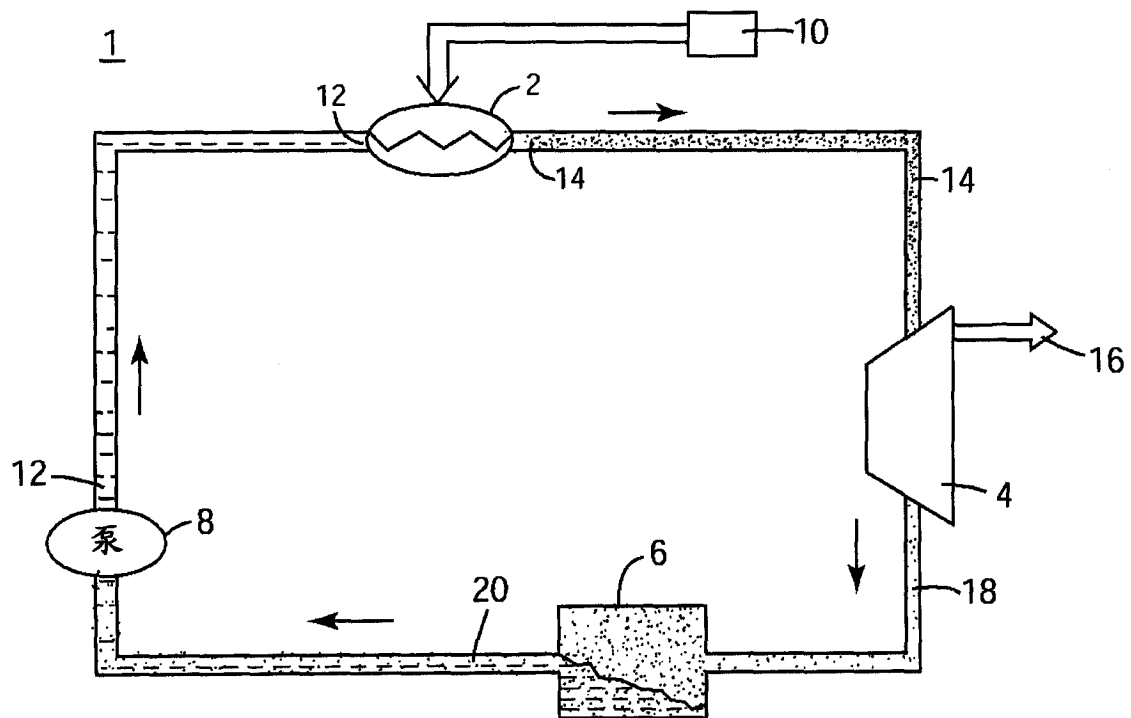


图 1(背景技术)

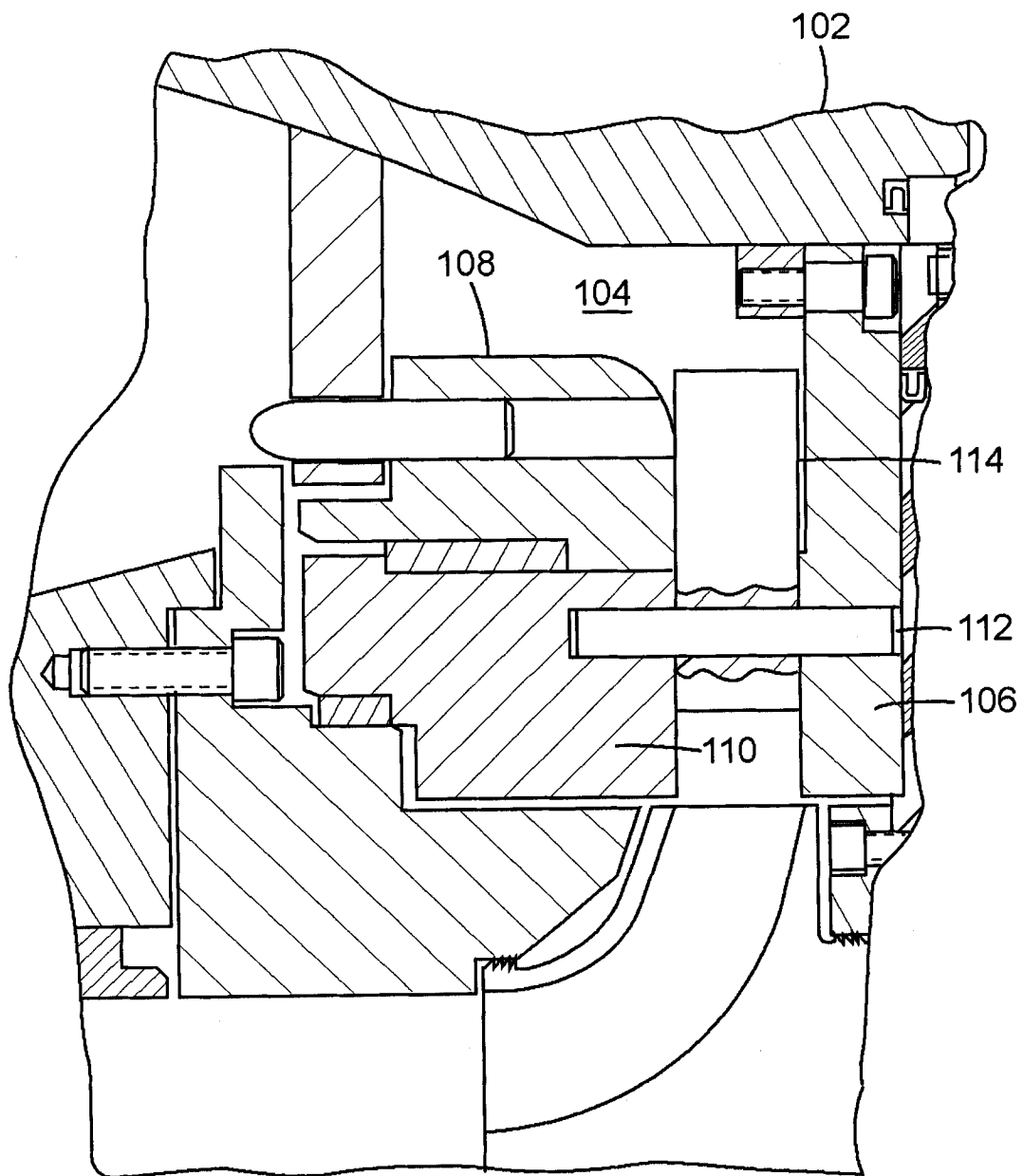
4

图 2(背景技术)

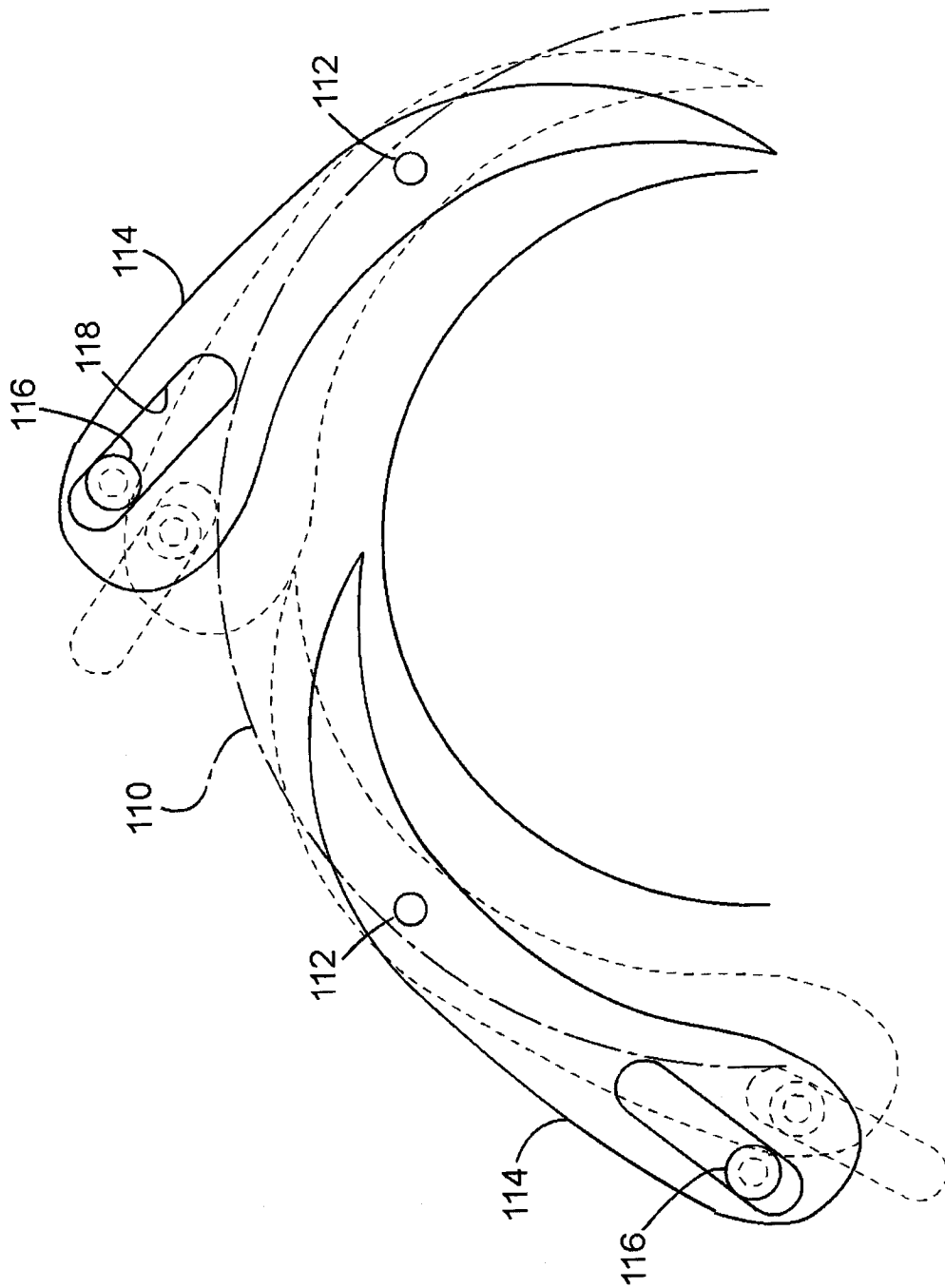


图 3(背景技术)

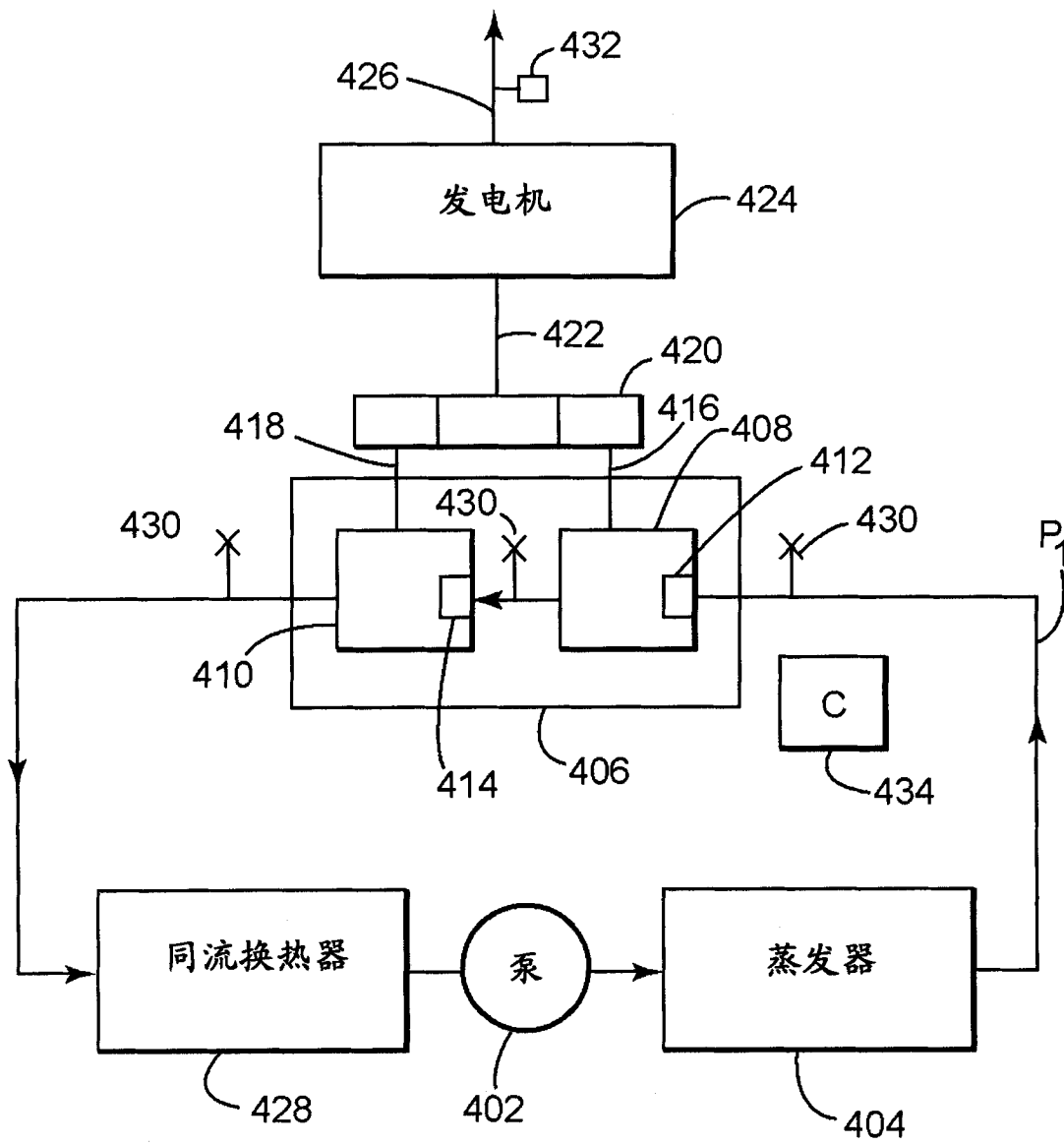


图 4

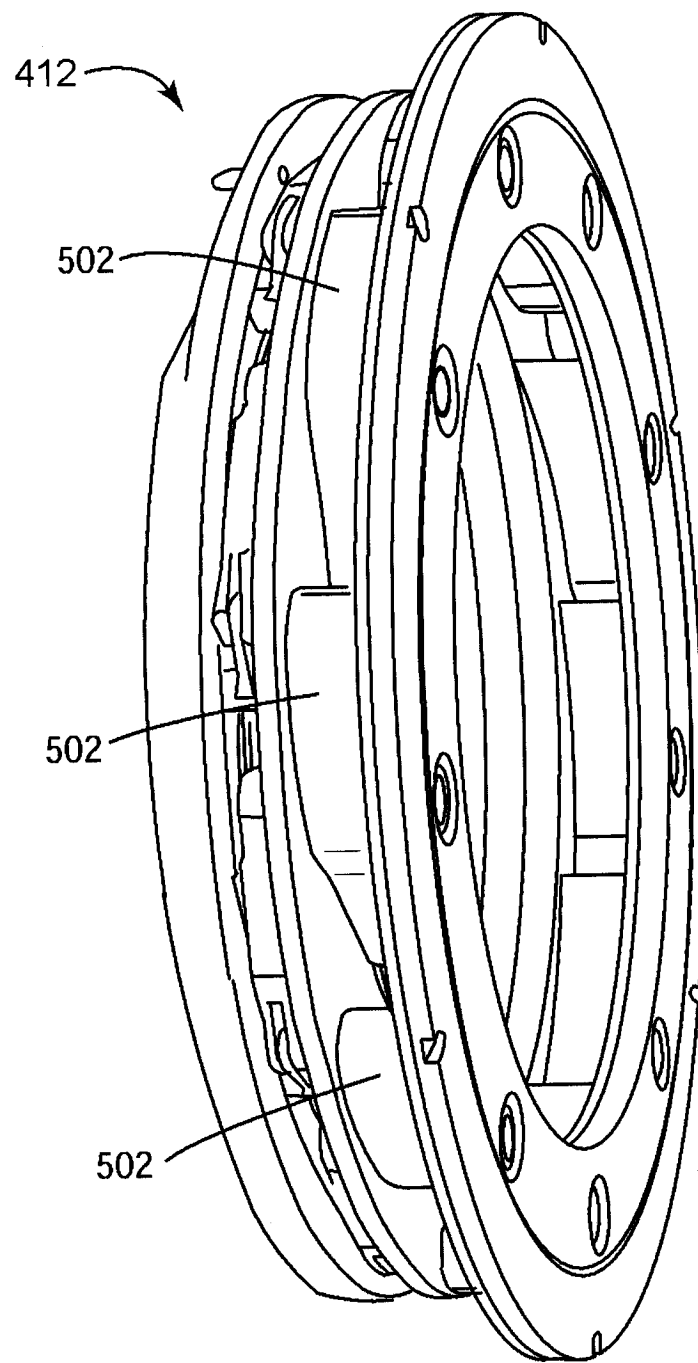


图 5

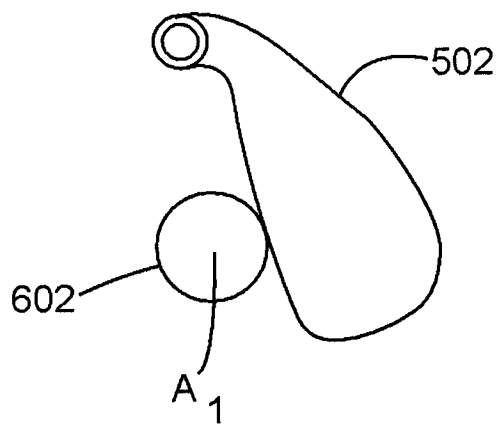


图 6

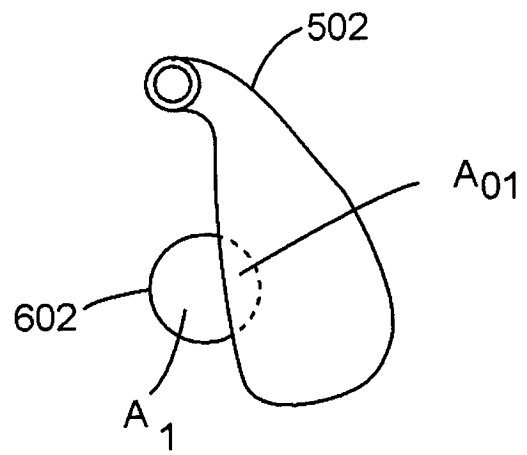


图 7

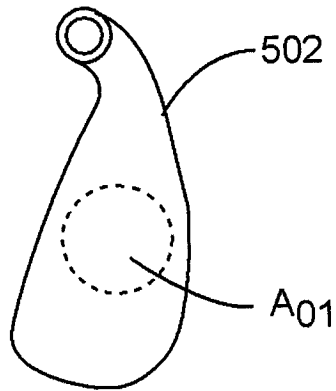


图 8

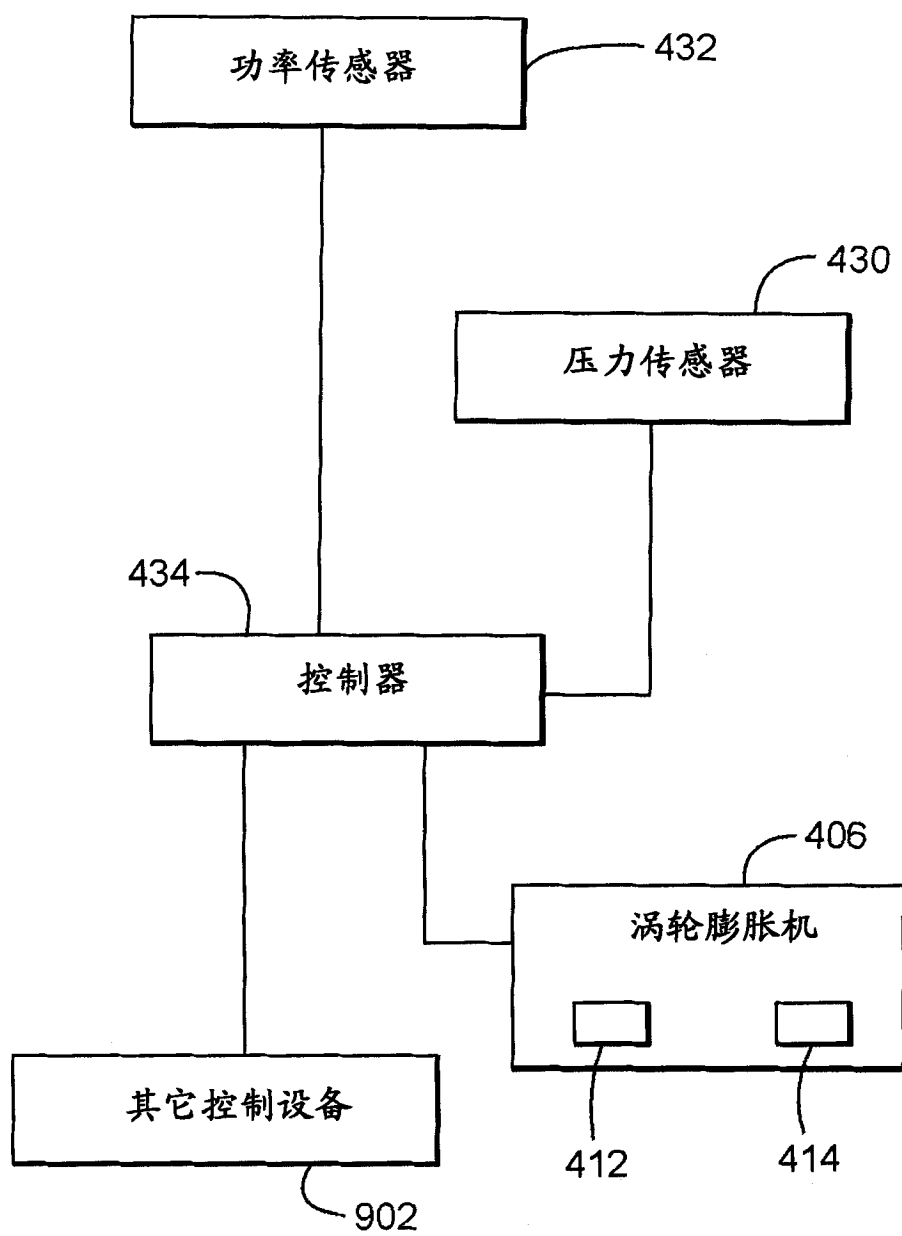


图 9

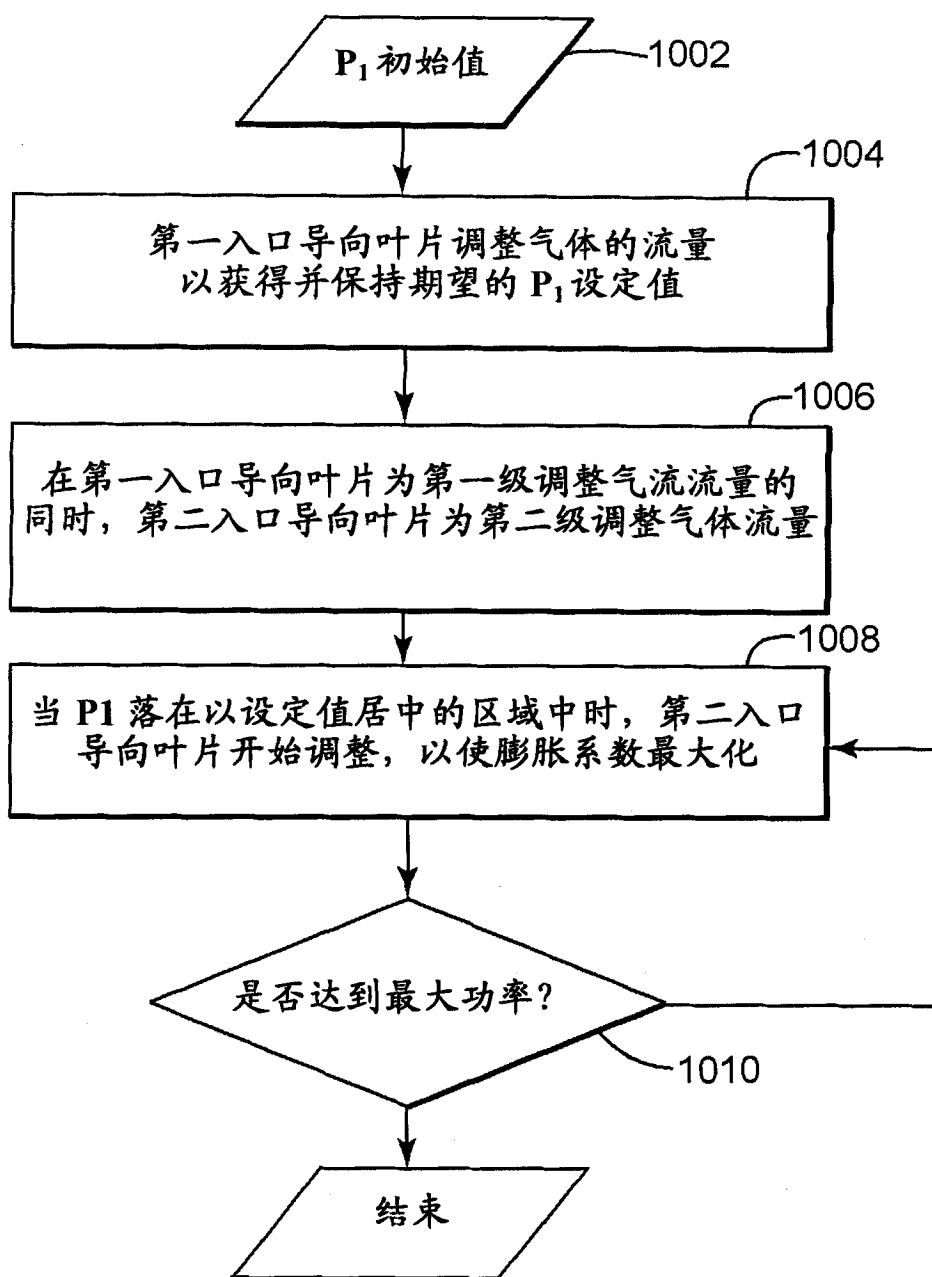


图 10

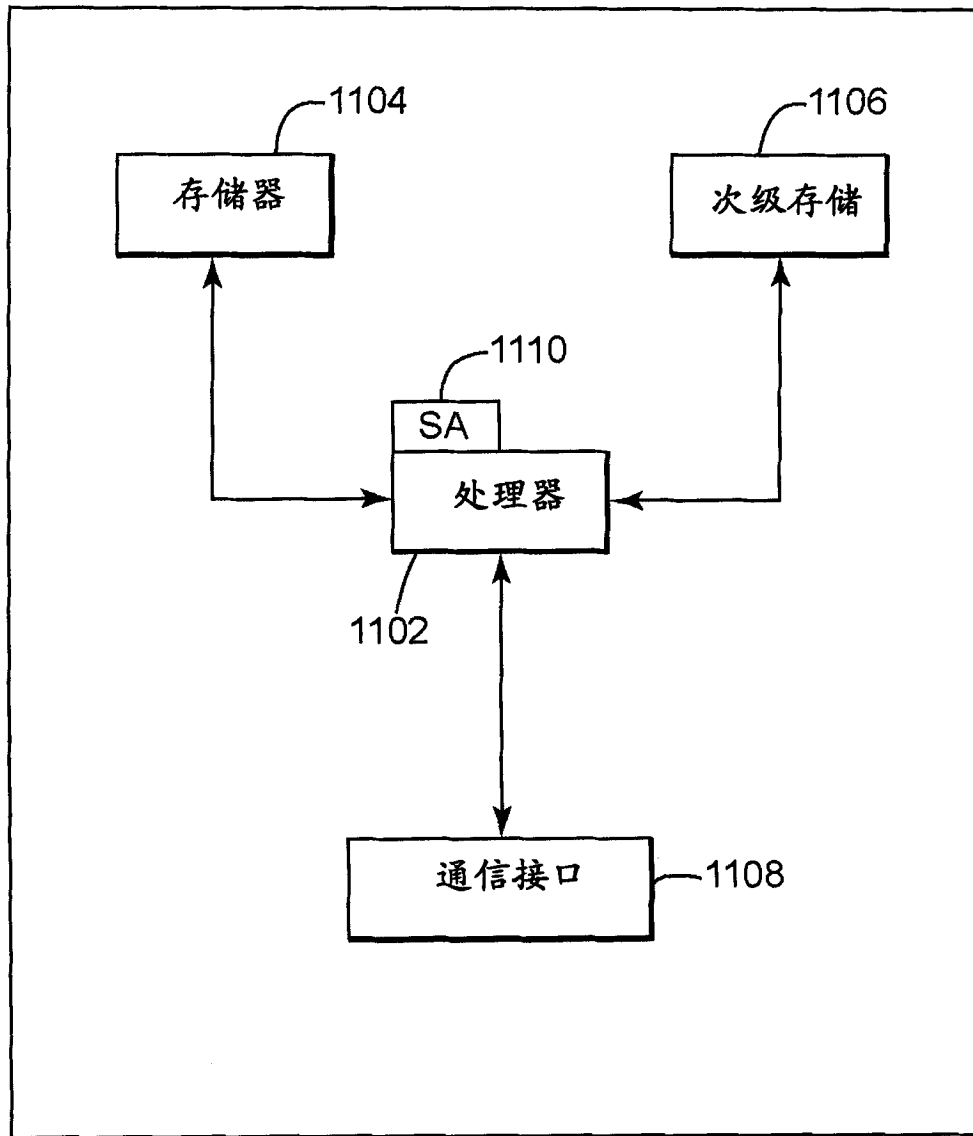
434

图 11

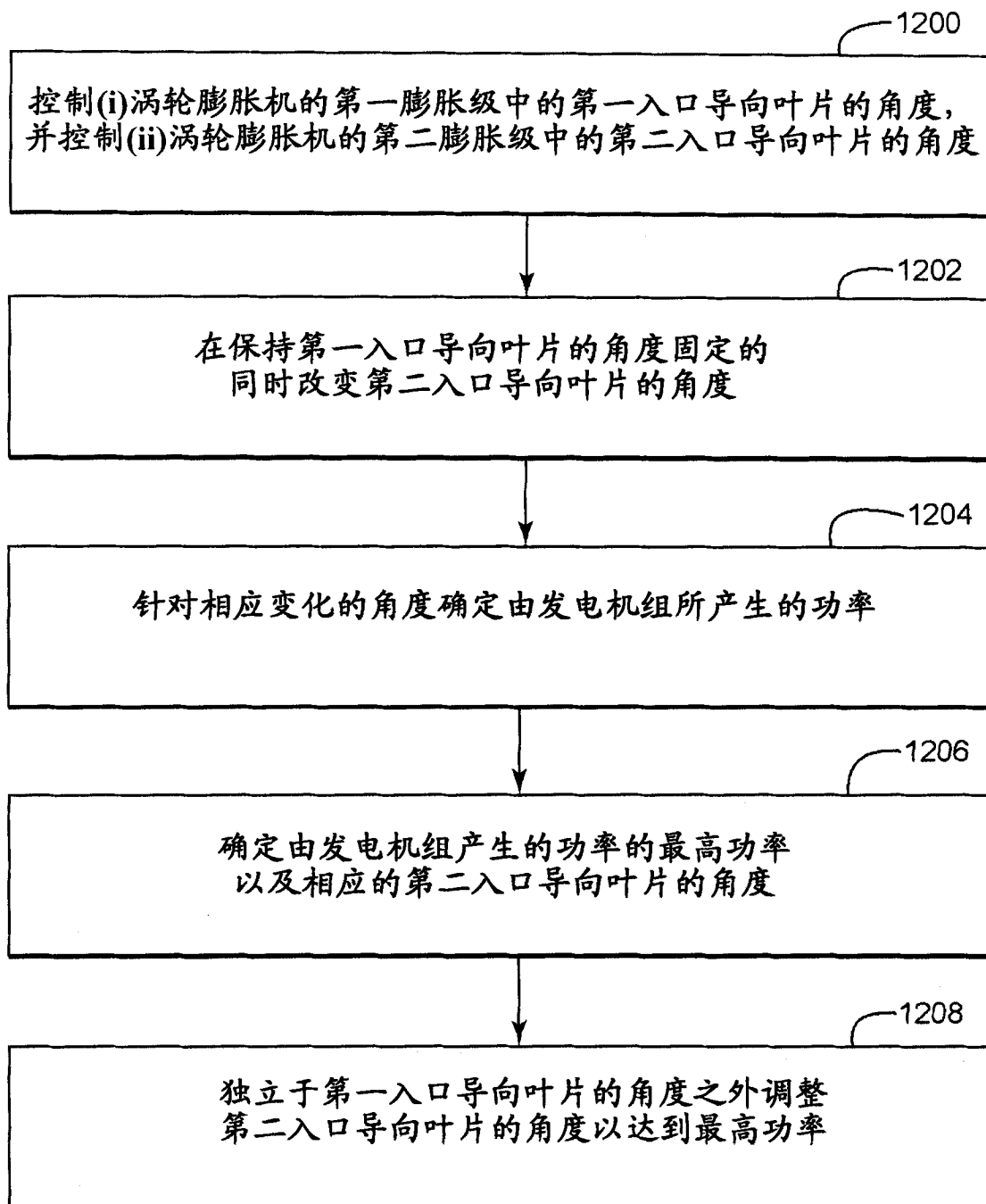


图 12