

1. 一种布雷顿循环单元 (60), 所述单元包括:
 - 多级压缩机 (62), 所述多级压缩机 (62) 构造成用以压缩流动介质;
 - 第一热交换器 (76), 所述第一热交换器 (76) 流体地连接到所述多级压缩机 (62) 上且构造成用以将来自于经过所述第一热交换器 (76) 的工作介质的热量传递至压缩的流动介质;
 - 膨胀器 (64), 所述膨胀器 (64) 流体地连接到所述第一热交换器 (76) 上且构造成用以使加热的压缩流动介质膨胀以便产生对所述膨胀器 (76) 的轴的旋转; 以及
 - 第二热交换器 (78), 所述第二热交换器 (78) 流体地连接在所述膨胀器 (64) 与所述压缩机 (62) 之间且构造成用以从膨胀的流动介质除去热量,其中, 所述流动介质经过所述多级压缩机 (62)、所述第一热交换器 (76)、所述膨胀器 (64) 和所述第二热交换器 (78) 的通路为封闭的, 以及
其中, 至少一个中间冷却器机构 (72) 存在于所述多级压缩机 (62) 的第一级与第二级之间, 所述中间冷却器机构 (72) 构造成用以将所述第一级与所述第二级之间的流动介质冷却至预定温度。
2. 根据权利要求 1 所述的单元, 其特征在于, 所述多级压缩机 (62) 具有四级以及位于各对相邻级之间的三个中间冷却器机构。
3. 根据权利要求 1 所述的单元, 其特征在于, 所述单元还包括:
 - 回流换热器 (74), 所述回流换热器 (74) 具有将所述多级压缩机 (62) 流体地连接至所述第一热交换器 (76) 上的第一通路 (74a) 和将所述膨胀器 (64) 流体地连接至所述第二热交换器 (78) 上的第二通路 (74b), 且构造成用以将来自所述膨胀的流动介质的热量传递至所述压缩的流动介质。
4. 根据权利要求 1 所述的单元, 其特征在于, 所述单元还包括:
 - 外源回路 (80), 其包括
 - 压缩机 (82), 所述压缩机 (82) 构造成用以压缩空气且将所述空气提供给外部燃烧室 (84), 所述外部燃烧室 (84) 构造成用以接收所述空气和燃料并燃烧混合物, 且将排出气体提供给经过所述第一热交换器 (76) 的通路, 以及
 - 热交换器 (86), 所述热交换器 (86) 构造成用以冷却来自于所述第一热交换器 (76) 的排出气体,其中, 所述第一热交换器 (76) 分隔为使得所述空气、所述燃料和所述排出气体与所述流动介质隔离。
5. 根据权利要求 1 所述的单元, 其特征在于, 所述流动介质为二氧化碳。
6. 根据权利要求 5 所述的单元, 其特征在于, 所述二氧化碳贯穿所述多级压缩机 (62)、所述第一热交换器 (76)、所述膨胀器 (64) 和所述第二热交换器 (78) 都为气相。
7. 根据权利要求 1 所述的单元, 其特征在于, 所述流动介质在经由所述多级压缩机 (62) 压缩、在所述第一热交换器 (76) 中加热、在所述膨胀器 (64) 中膨胀以及在所述第二热膨胀器 (78) 中冷却时都为气相。
8. 根据权利要求 1 所述的单元, 其特征在于, 所述至少一个中间冷却器机构 (72) 构造成以大致恒定的压力和降低的焓来冷却所述流动介质。
9. 根据权利要求 1 所述的单元, 其特征在于, 所述流动介质为二氧化碳, 所述二氧化碳

为气相且经过所述多级压缩机 (62)、所述第一热交换器 (76)、所述膨胀器 (64) 和所述第二热交换器 (78) 都保持为气相,所述多级压缩机 (62) 具有四级和带四个小齿轮的大齿轮,各个小齿轮均促动对于一个所述级的叶轮,以及所述膨胀器 (64) 为两级膨胀器。

10. 根据权利要求 1 所述的单元,其特征在于,经由所述多级压缩机 (62) 的压缩过程当在压力对焓的状态空间中绘制时具有拉锯形状。

11. 一种布雷顿循环系统,所述系统包括:

封闭循环式布雷顿单元 (60);

外源回路 (80),所述外源回路 (80) 构造成用以将热量提供给所述封闭循环式布雷顿单元 (60);以及

冷却回路 (90),所述冷却回路 (90) 构造成用以从所述封闭循环式布雷顿单元 (60) 除去热量,

其中,所述封闭循环式布雷顿单元 (60) 包括构造成用以将所述级之间的流动介质冷却至预定温度的多级压缩机 (62)。

12. 根据权利要求 11 所述的系统,其特征在于,所述封闭循环式布雷顿单元 (60) 还包括:

第一热交换器 (76),所述第一热交换器 (76) 流体地连接到所述多级压缩机 (62) 上且构造成用以将来自于经过所述第一热交换器 (76) 的工作介质的热量传递至压缩的流动介质;

膨胀器 (64),所述膨胀器 (64) 流体地连接到所述第一热交换器 (76) 上且构造成用以使加热的压缩流动介质膨胀以产生对所述膨胀器 (76) 的轴的旋转;以及

第二热交换器 (78),所述第二热交换器 (78) 流体地连接在所述膨胀器 (64) 与所述压缩机 (62) 之间且构造成用以从膨胀的流动介质除去热量,

其中,所述流动介质经过所述多级压缩机 (62)、所述第一热交换器 (76)、所述膨胀器 (64) 和所述第二热交换器 (78) 的通路为封闭的,以及

其中,至少一个中间冷却器机构 (72) 存在于所述多级压缩机 (62) 的第一级与第二级之间,所述中间冷却器机构 (72) 构造成用以将所述第一级与所述第二级之间的流动介质冷却至预定温度。

13. 根据权利要求 11 所述的系统,其特征在于,所述多级压缩机 (62) 具有四级以及位于各对相邻级之间的三个中间冷却器机构。

14. 根据权利要求 11 所述的系统,其特征在于,所述系统还包括:

回流换热器 (74),所述回流换热器 (74) 具有将所述多级压缩机 (62) 流体地连接至所述第一热交换器 (76) 上的第一通路 (74a) 和将所述膨胀器 (64) 流体地连接至所述第二热交换器 (78) 上的第二通路 (74b),且构造成用以将来自所述膨胀的流动介质的热量传递至所述压缩的流动介质;

压缩机 (82),所述压缩机 (82) 构造成用以压缩空气且将所述空气提供给外部燃烧室 (84),所述外部燃烧室 (84) 构造成用以接收所述空气和燃料并燃烧混合物,且将排出气体提供给经过所述第一热交换器 (76) 的通路;以及

热交换器 (86),所述热交换器 (86) 构造成用以冷却来自于所述第一热交换器 (76) 的排出气体,

其中,所述第一热交换器(76)分隔成使得所述空气、所述燃料和所述排出气体与所述流动介质隔离。

15. 一种用于旋转膨胀器(64)的轴的方法,所述膨胀器(64)为封闭循环式布雷顿系统(60)的一部分,所述方法包括:

利用多级压缩机(62)压缩流动介质;

利用位于所述多级压缩机(62)的第一级与第二级之间的至少一个中间冷却器机构(72)将所述流动介质冷却至预定温度;

使压缩的流动介质流通至流体地连接到所述多级压缩机(62)上的第一热交换器(76);

将来自于经过所述第一热交换器(76)的工作介质的热量传递至所述压缩的流动介质;

使加热的流动介质流通至流体地连接到所述第一热交换器(76)上的膨胀器(64);

使所述加热的流动介质在所述膨胀器(64)中膨胀以使所述膨胀器(64)的轴旋转;

使膨胀的流动介质流通至流体地连接在所述膨胀器(64)与所述多级压缩机(62)之间的第二热交换器(78)上;

在所述第二热交换器(78)中从所述膨胀的流动介质除去热量;以及

使冷却的流动介质流通回到所述多级压缩机(62)。

封闭循环式布雷顿循环系统及方法

技术领域

[0001] 本文所公开主题的实施例主要涉及系统及方法,并且更具体地涉及用于提高封闭循环式布雷顿循环系统的效率的机构及技术。

背景技术

[0002] 在过去数年间,使用燃气轮机来向大部分的飞行器提供推力、发电等已变得普遍。燃气轮机以布雷顿循环进行操作并具有工作流体(通常为空气)。燃气轮机可使用开放式或封闭式布雷顿循环。图1示出了基于开放式布雷顿循环操作的系统10。在步骤1,在压缩机12处提供新鲜空气。在压缩之后,在步骤2将空气提供给内部燃烧器14。同时,燃料16喷射到燃烧室14中且在燃烧室14中点燃以便加热压缩空气。在加热之后,来自于燃烧室的高温高压气体在步骤3提供给涡轮18。排出气体使涡轮18的轴20旋转以便产生旋转能22。当前具有较低温度(500℃)和压力的排出气体在步骤4排放到大气中。

[0003] 对于在这种开放循环中发生的热力学过程,注意的是,等熵压缩24发生在压缩机12中,恒压加热26发生在燃烧室14中,等熵膨胀28发生在涡轮18中,以及恒压排热30发生在排出气体释放至环境时。本领域的普通技术人员将会认识到的是,热力学过程24,26,28和30是理想过程,也即系统10的各种元件中的空气不会完全地经历这些变换,而是经历大致接近理想变换的变换。然而,出于使现实生活系统特征化的目的,在本领域中接受使用仅近似真实变换的理想变换。

[0004] 封闭式布雷顿循环系统已经发展为用以解决与开放式布雷顿循环相关的一些问题。图2中示出了封闭式布雷顿循环系统40。该系统包括相同的压缩机12和涡轮18,但燃烧室14由第一热交换器42代替,且经过系统40使用的介质经由第二热交换器44再流通,也即未释放到大气中。以此方式,介质没有任何部分释放到大气中。然而,对于此类系统,需要提供热源,使得热量经由第一热交换器42传递至介质,且该热源可为原子能的、地热的、太阳能的、常规的、电的,等等。

[0005] 然而,现有封闭式布雷顿循环系统并非十分高效。因此,期望的是将提供提高封闭式布雷顿循环系统效率的系统及方法。

发明内容

[0006] 根据一个示例性实施例,存在一种布雷顿循环单元。该单元包括构造成用以压缩流动介质的多级压缩机;第一热交换器,其流体地连接到多级压缩机上且构造成用以将来自于经过第一热交换器的工作介质的热量传递至压缩的流动介质;膨胀器,其流体地连接到第一热交换器上且构造成用以使加热的压缩流动介质膨胀以便产生对膨胀器轴的旋转;以及第二热交换器,其流体地连接在膨胀器与压缩机之间且构造成用以从膨胀的流动介质中除去热量。介质流动穿过多级压缩机、第一热交换器、膨胀器和第二热交换器的通路是封闭的。在多级压缩机的第一级与第二级之间存在至少一个中间冷却器机构,其构造成用以将第一级与第二级之间的流动介质冷却至预定温度。

[0007] 根据又一示例性实施例,存在一种布雷顿循环系统。该系统包括封闭循环式布雷顿单元;构造成用以将热量提供给封闭循环式布雷顿单元的外源回路;以及构造成用以从封闭循环式布雷顿单元除去热量的冷却回路。封闭循环式布雷顿单元包括构造成用以将级间的流动介质冷却至预定温度的多级压缩机。

[0008] 根据再一示例性实施例,存在一种用于旋转膨胀器轴的方法,该膨胀器为封闭循环式布雷顿系统的一部分。该方法包括利用多级压缩机来压缩流动介质;利用位于多级压缩机的第一级与第二级之间的至少一个中间冷却器机构将流动介质冷却至预定温度;使压缩的流动介质流通至流体地连接到多级压缩机上的第一热交换器;将来自于经过第一热交换器的工作介质的热量传递至压缩流动介质;使加热的流动介质流通至流体地连接到第一热交换器上的膨胀器;在膨胀器中使加热的流动介质膨胀以便旋转膨胀器轴;使膨胀的流动介质流通至流体地连接在膨胀器与多级压缩机之间的第二热交换器;在第二热交换器中从膨胀流动介质中除去热量;以及使冷却的流动介质流通回到多级压缩机。

附图说明

[0009] 并入说明书中并构成其一部分的附图示出了一个或多个实施例,且结合说明一起阐述了这些实施例。在附图中:

[0010] 图 1 为开放循环式布雷顿循环单元的简图;

[0011] 图 2 为封闭循环式布雷顿循环单元的简图;

[0012] 图 3 为根据示例性实施例的封闭循环式布雷顿循环系统的简图;

[0013] 图 4 为具有大齿轮 (bull gear) 的多级压缩机的简图;

[0014] 图 5 为根据示例性实施例的封闭循环式布雷顿循环系统的简图;

[0015] 图 6 示出了对于经过根据示例性实施例的封闭循环式布雷顿循环系统的流动介质的压力对焓的相空间;以及

[0016] 图 7 为示出根据示例性实施例的用于产生能量的方法的流程图。

具体实施方式

[0017] 示例性实施例的以下描述参照了附图。不同图中的相同标号表示相同或相似的元件。以下详细描述并不限制本发明。代替的是,本发明的范围由所附权利要求限定。为了简单起见,以下实施例参照具有一体式齿轮传动压缩机(稍后将阐述的技术)和多级径向或轴向膨胀器的系统的措辞和结构来阐述。然而,下文将描述的实施例并不限于这些系统,而是可应用于在封闭循环中使用多级压缩机和膨胀器的其它系统。

[0018] 整个说明书中所涉及的“一个实施例”或“实施例”意指结合实施例描述的具体特征、结构或特点包括在所公开主题的至少一个实施例中。因此,出现在整个说明书中不同位置的短语“在一个实施例中”或“在实施例中”不必指的是同一实施例。此外,具体的特征、结构或特点可以任何适合的方式结合到一个或多个实施例中。

[0019] 根据图 3 中所示的示例性实施例,一种新型封闭式布雷顿循环系统 60 可包括流体地连接到膨胀器 64 上的压缩机 62。压缩机 62 可为多级压缩机,而膨胀器 64 可为多级膨胀器。在一种应用中,压缩机 62 具有四级且使用 SRL 技术(稍后将阐述),而膨胀器 64 为两级径向膨胀器。然而,也可使用其它类型的压缩机和膨胀器。

[0020] SRL 或一体式齿轮传动压缩机（由意大利佛罗伦萨市的 Nuovo Pignone S. p. A. 制造）在许多石化应用中使用，用于低流量 / 高压状态或高流量 / 低压状态。图 4 中所示的这类压缩机具有大齿轮 66 和一到四个高速小齿轮 68。如图 4 中所示，一个或两个叶轮 70 可安装在各个小齿轮轴上。中间冷却机构 72 可提供在级间以便在压缩介质从压缩机的一级传递至压缩机的另一级时以期望的方式冷却该压缩介质。

[0021] 回到图 3，由压缩机 62 压缩的流动介质沿系统 60 内随后的封闭通路行进。来自于压缩机 62 的流动介质进入回流换热器 (recuperator) 74、第一热交换器 76、膨胀器 64、再是回流换热器 74、第二热交换器 78 并回到压缩机 62。因此，流动介质界定在该封闭通路中，且不会污染或影响环境或其它流体。流动介质可为 CO_2 或具有高分子密度的其它流体。在一个示例性实施例中，系统 60 设计成使得 CO_2 不论在系统中的位置都保持在气相，也即在系统 60 内不发生相变。膨胀器 64 可连接到发电单元 63 上以便发电。如图 3 中所示，膨胀器 64、压缩机 62 和发电单元 63 可共用同一轴 65。如本领域的普通技术人员将认识到的那样，膨胀器 64 可连接到其它装置（例如，泵）上，以便提供促动它们所需的能量。

[0022] 在图 3 中示出了另外两个回路且接下来进行阐述。第一热交换器 76 构造成用以将来自外源回路 80 的热量传递至布雷顿封闭回路 60 的流动介质。在一个示例性实施例中，外源回路 80 可包括压缩机，该压缩机在入口 82a 处吸收环境空气而在出口 82b 处输出压缩空气。在将这种压缩空气提供给燃烧室 84 之前，压缩空气流经热交换器 86 以便对该压缩空气加热。热源为来自于燃烧室 84 的排出气体。注意的是，来自于压缩机 82 的压缩空气的通路 86a 和燃烧室 84 的通路 86b 不会相交，而是分布为以便在该两者间进行热交换。

[0023] 加热且压缩的空气然后提供至燃烧室 84，而燃料在入口 84a 处进入燃烧室 84。压缩空气通过燃料的燃烧来加热。空气、燃料和排出气体的热混合物可进入膨胀器 87 以便产生能量，或可直接地供给至第一热交换器 76 以便将热量传递至封闭式布雷顿循环系统 60 中的流动介质。在除去气体排气的部分热量之后，气体排气可进入热交换器 86，以便在其于出口 86c 处排至大气之前对来自压缩机 82 的压缩空气进行加热。排出气体的温度可为大约 150°C 。

[0024] 第二热交换器 78 构造成用以将来自封闭式布雷顿循环系统 60 中的流动介质的热量传递至冷却回路 90。冷却回路 90 可包括工作介质（例如，水），该工作介质经由第二热交换器 78 流通，以便从来自于膨胀器 64 的流动介质中除去热量。热量提供至散热器 (sink) 92，例如水塔。

[0025] 回流换热器 74 包括收纳分别来自于压缩机 62 和膨胀器 64 的流动介质的至少两个单独的通路 74a 和 74b。回流换热器 74 构造成用以从来自于膨胀器的流动介质中除去热量且将这些热量提供给来自于压缩机 62 的流动介质。

[0026] 图 5 中示出了有关封闭式布雷顿循环系统 60 的压力和温度的更为具体的实例。该图显示，压缩机 62 将流动介质的压力从大约 1 巴 (bar) 升高至大约 35bar，以及第一热交换器 76 在流动介质到达膨胀器 64 之前将其温度升高至大约 1200°C 。该系统示出了高于现有系统的效率，因为流动介质在压缩机 62 的级间冷却以及在外源回路 80 中的热量抽出高达 150°C 。在一种应用中，图 5 中所示系统的效率达到 49%。

[0027] 在示例性实施例中，图 6 示出了用于封闭式布雷顿循环系统 60 的流动介质 (CO_2) 的 P-H 图表 (P 表示压力，而 H 表示某一点处流动介质的焓)。如前文所述，本领域的普通技

术人员将认识到的是,图 6 中所示的热力学变换是理想的,且意指近似于发生在真实系统 60 中的真实变换。然而,这些理想变换是真实系统特性的良好表征。

[0028] 各点在图 6 中示出且它们对应于封闭式布雷顿循环系统 60 中的物理位置,如稍后将描述的那样。考虑到的是,CO₂ 在 100 处以某一温度(接近 15°C)和压力(1bar)进入压缩机 62。CO₂ 在第一级(假定压缩机具有四级)期间从 1bar 压缩至大约 4bar,使得 CO₂ 达到点 102。在该点处,压缩 CO₂ 的温度可达到大约 70°C 至 100°C 的值。CO₂ 在点 100 和 102 之间的压缩是等熵的。一旦 CO₂ 离开第一级且在进入第二级之前,压缩 CO₂ 在步骤 105 中冷却至预定温度,例如大约 25°C。注意的是,第一冷却步骤 105 以大致恒定的压力发生在点 102 与 104 之间。接下来,CO₂ 进入压缩机的第二级,在该处,其压力进一步增大至例如在到达点 106 时的大约 8bar。在点 106 处,CO₂ 的温度也增大至大约 70°C 至 100°C。自此,CO₂ 经历在点 106 与 108 之间发生的第二冷却步骤 107。CO₂ 的温度再次降低至大约预定温度。描述在压缩机 62 中压缩 CO₂ 的过程可在压力对焓所限定的相空间中描述为具有拉锯(see-saw)形状。

[0029] CO₂ 在点 108 与 110 之间进一步压缩至大约 17bar 的压力,且在点 112 与 114 之间压缩至大约 34bar 的最终压力。在第三级与第四级之间,CO₂ 在步骤 111 期间在点 110 与 112 之间再次冷却,以便使 CO₂ 的温度变为预定温度。注意的是,预定温度可取决于所使用的介质、介质的最终压力以及系统的其它参数。

[0030] 一旦在点 114 处,压缩的 CO₂ 离开压缩机 62(图 3 中)并进入回流换热器 74。发生在回流换热器 74 内的热力学过程 115 由点 114 和 116 界定,且在该过程期间 CO₂ 在保持大致恒定压力的同时升高其温度。更多热量沿通过点 116 和 118 所界定的通路 117 加至 CO₂,这对应于在第一热交换器 76 内对流动介质加热。注意的是,由第一热交换器 76 所提供的热量在燃烧室 84 中产生。

[0031] 然后,CO₂ 进入膨胀器 64 且对应的热力学过程由点 118 和 120 界定,并且这种膨胀是等熵膨胀。注意的是,流动介质在点 118 处的温度可为大约 1200°C,而在点 120 处的温度可为大约 600°C。为了在点 120 处进一步降低流动介质的温度和进一步获取能量,流动介质将进入回流换热器 74,这对应于由点 120 和 122 界定的回流换热过程 121。该过程 121 以大致恒定的压力(接近大气压力)发生。对于该过程的温降为大约 500°C。然而,其它的值也可实现。CO₂ 通过使其流通经过第二热交换器 78 而从点 122 进一步冷却至点 100(冷却步骤 123)。在该冷却过程期间,CO₂ 的温度和压力可达到环境温度和压力,且新的循环可通过将 CO₂ 送回至压缩机而开始。

[0032] 中间冷却步骤 105,107 和 111(这些步骤可更多或更少地执行)有助于改善整个循环的效率。新型实施例的其它特征,例如运行封闭式布雷顿循环系统、将 CO₂ 用作流动介质以及使 CO₂ 以气相经过系统,也有助于改善整个循环的效率。根据示例性实施例,所有这四个特征都可予以结合。然而,实现改善效率的布雷顿循环系统并不需要所有特征。

[0033] 如果图 3 中所示的系统结合外部燃烧室 84(例如,熔炉)使用,则该设备的优点在于可自由使用低等级的燃料来用于燃烧。另外,图 3 中所示的系统为绿色产品,因为来自燃烧室 84 的排出气体以低于现有技术(大约 500°C)的较低温度(大约 150°C)排放到大气中。该特征部分地由于热交换器 86 而实现。

[0034] 接下来,参照图 7 描述了一种基于封闭循环式 CO₂ 布雷顿系统产生能量的方法。

该方法包括：步骤 700，也即利用多级压缩机压缩流动介质；步骤 702，也即利用位于多级压缩机的第一级与第二级之间的至少一个中间冷却器机构将流动介质冷却至预定温度；步骤 704，也即使压缩流动介质流通至流体地连接到多级压缩机上的第一热交换器；步骤 706，也即将来自于经过第一热交换器的工作介质的热量传递至压缩流动介质；步骤 708，也即使加热的流动介质流通至流体地连接到第一热交换器上的膨胀器；步骤 710，也即在膨胀器中使加热的流动介质膨胀以便旋转膨胀器轴；步骤 712，也即使膨胀的流动介质流通至流体地连接在膨胀器与多级压缩机之间的第二热交换器；步骤 714，也即在第二热交换器中从膨胀流动介质中除去热量；以及步骤 716，也即使冷却的流动介质流通回到多级压缩机。

[0035] 所公开的示例性实施例提供了用于提高封闭循环式布雷顿系统效率的系统和方法。应当理解的是，此描述并非意图限制本发明。相反，示例性实施例旨在涵盖归入如所附权利要求所限定的本发明的精神和范围中的备选方案、变型和等同布置。此外，在示例性实施例的详细描述中阐述了许多具体细节，以便提供对所主张发明的充分理解。然而，本领域的普通技术人员将会理解到，可在没有此类具体细节的情况下实施各种实施例。

[0036] 尽管本示例性实施例的特征和元件在实施例中描述为特定的组合，但也可在不具有该实施例的其它特征和元件的情况下单独地使用各特征或元件，或在具有或不具有本文所公开的其它特征和元件的情况下以各种组合来使用各特征或元件。

[0037] 本书面说明使用了所公开主题的实例来使本领域的任何普通技术人员能够实施本主题，包括制作和使用任何装置或系统以及执行任何所结合的方法。本主题可取得专利的范围由权利要求限定，并且可包括本领域的普通技术人员所构思出的其它实例。这些其它实例认为落在权利要求的范围之内。

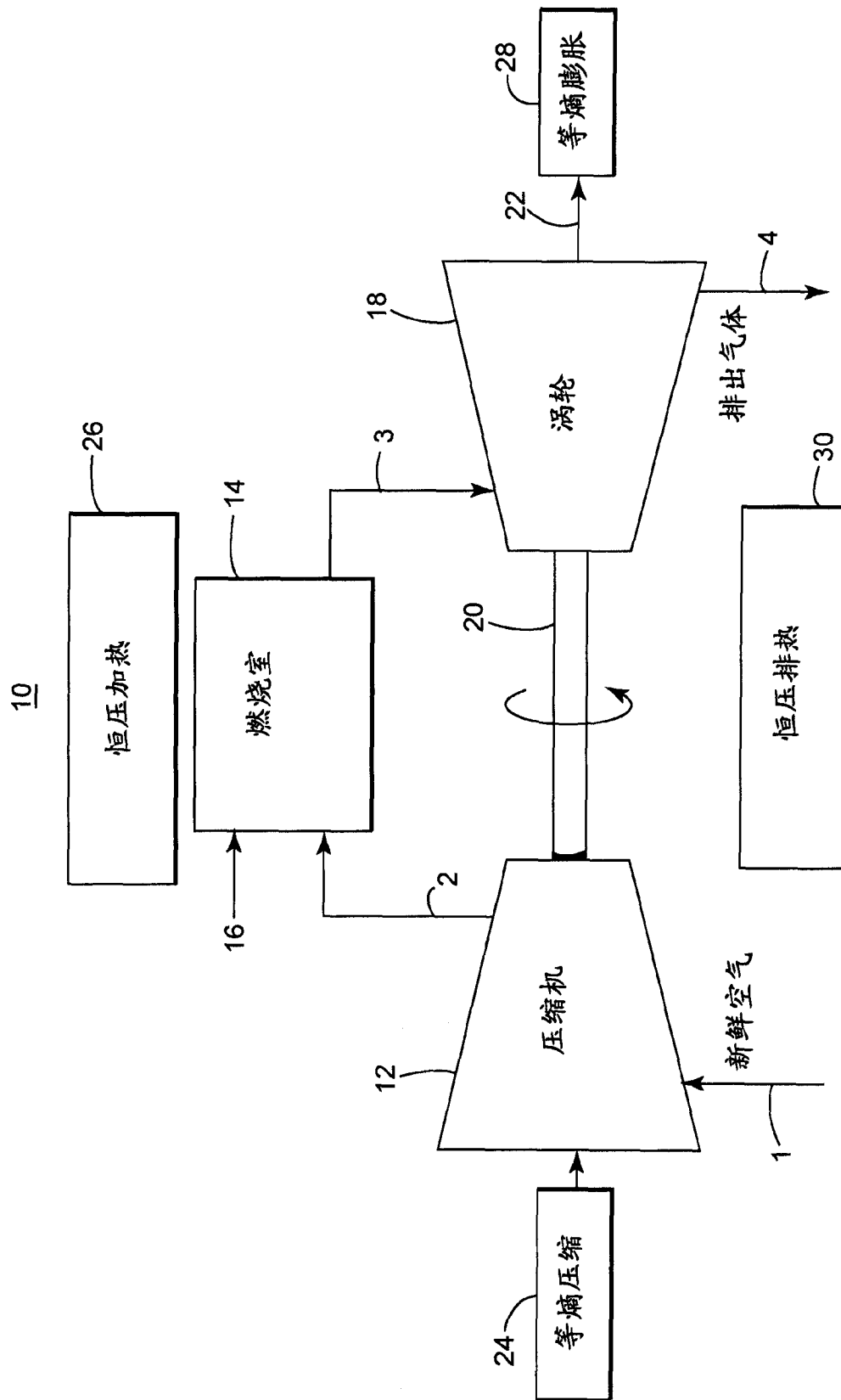


图 1

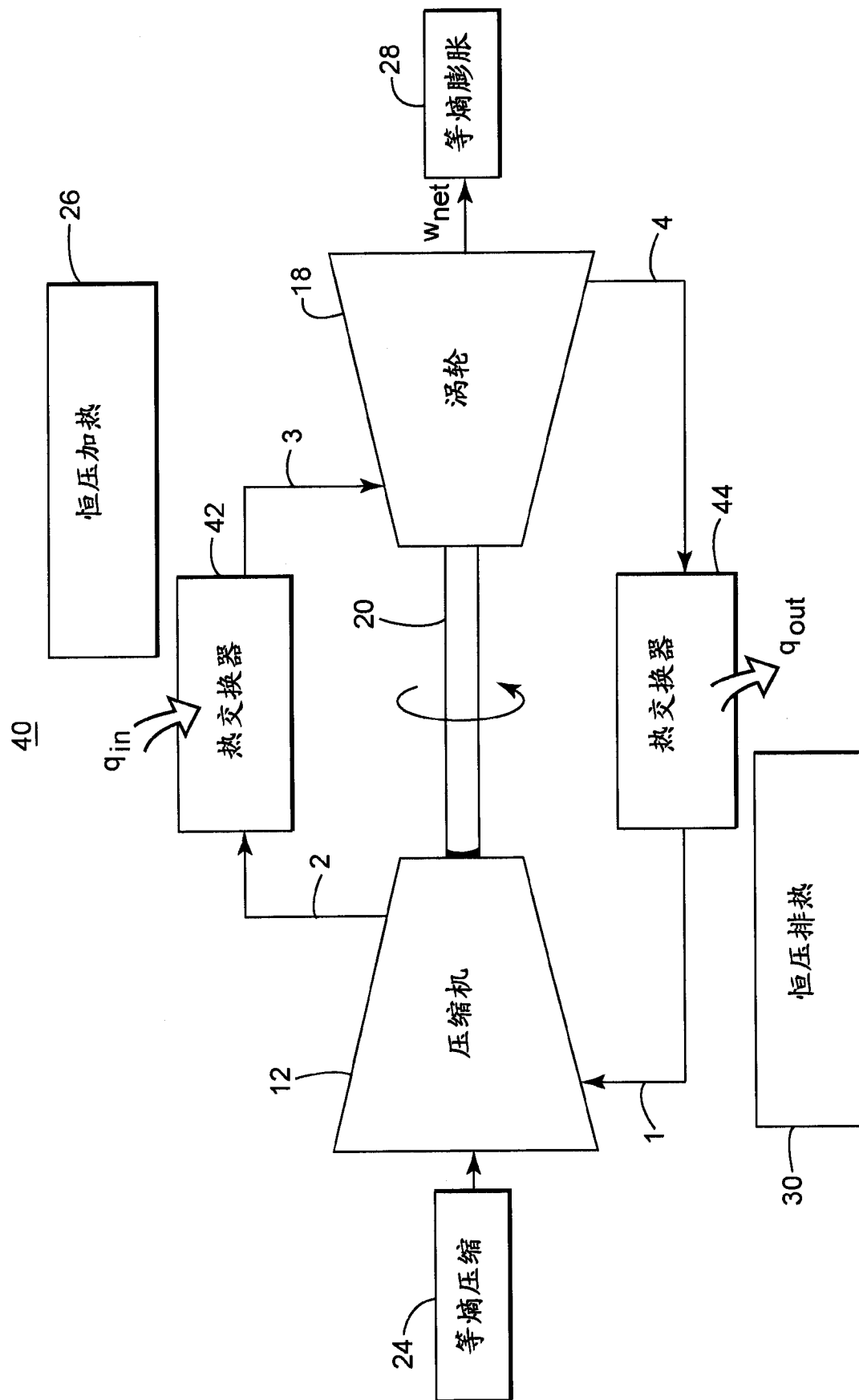


图 2

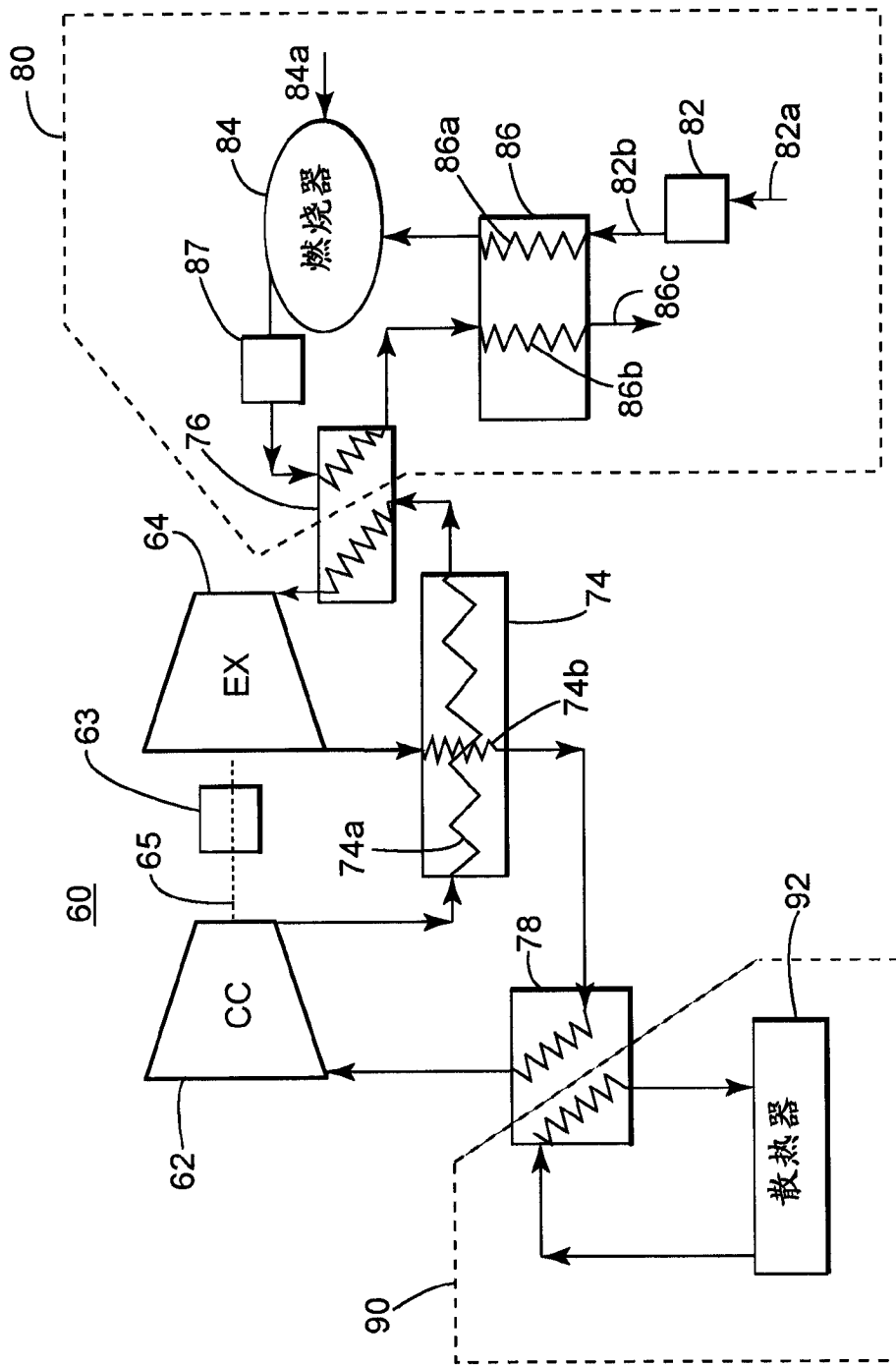


图 3

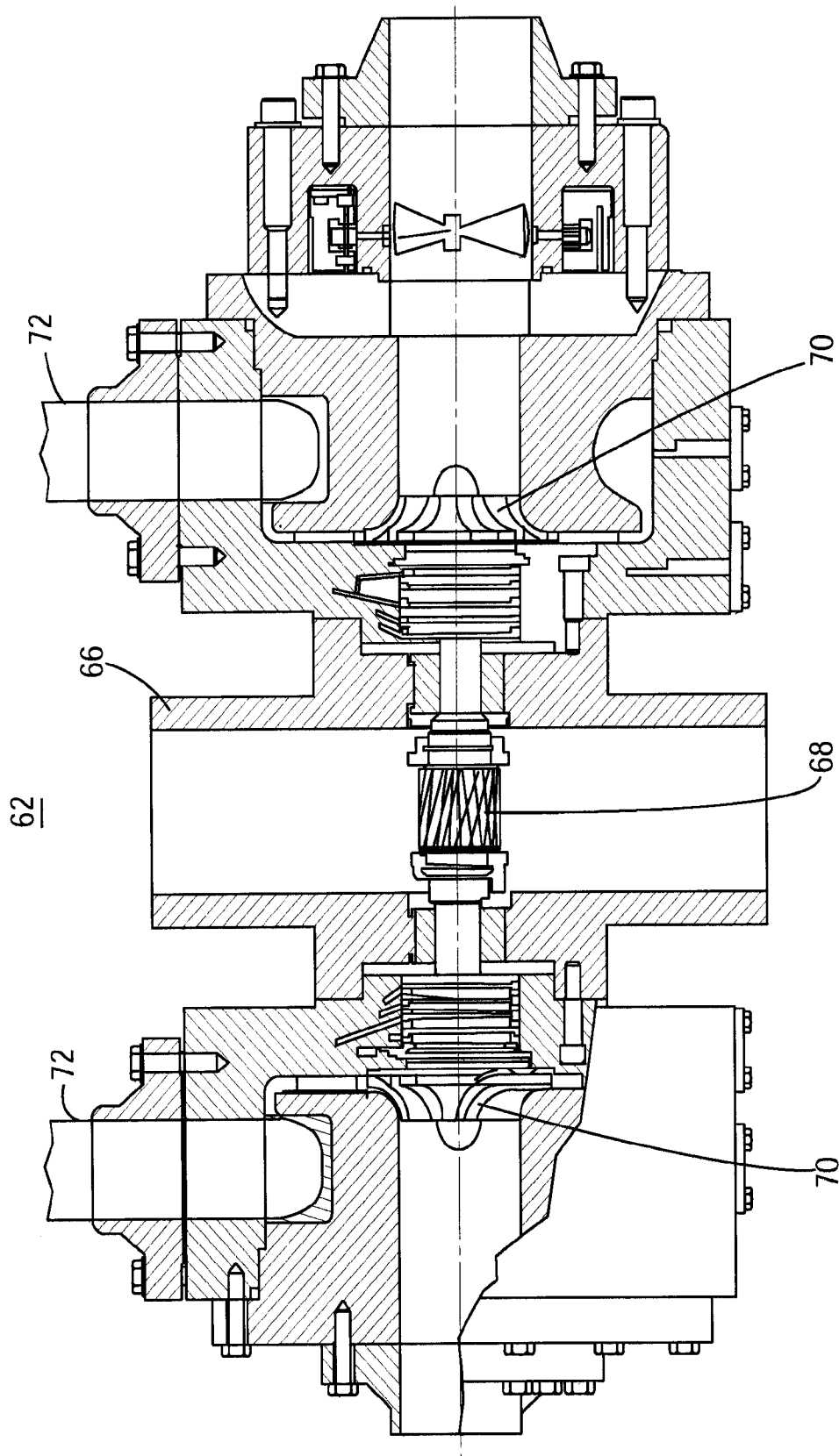


图 4

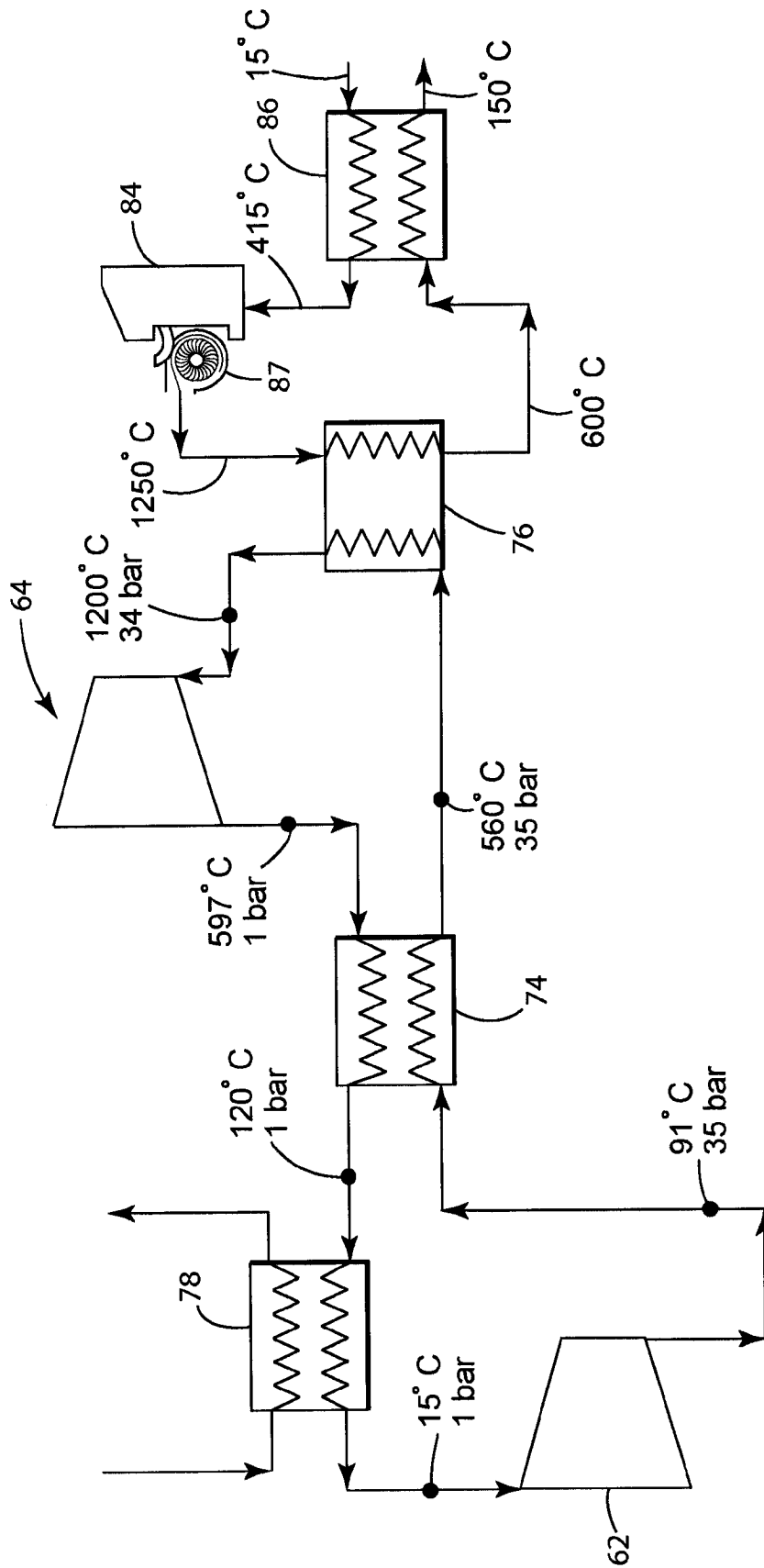


图 5

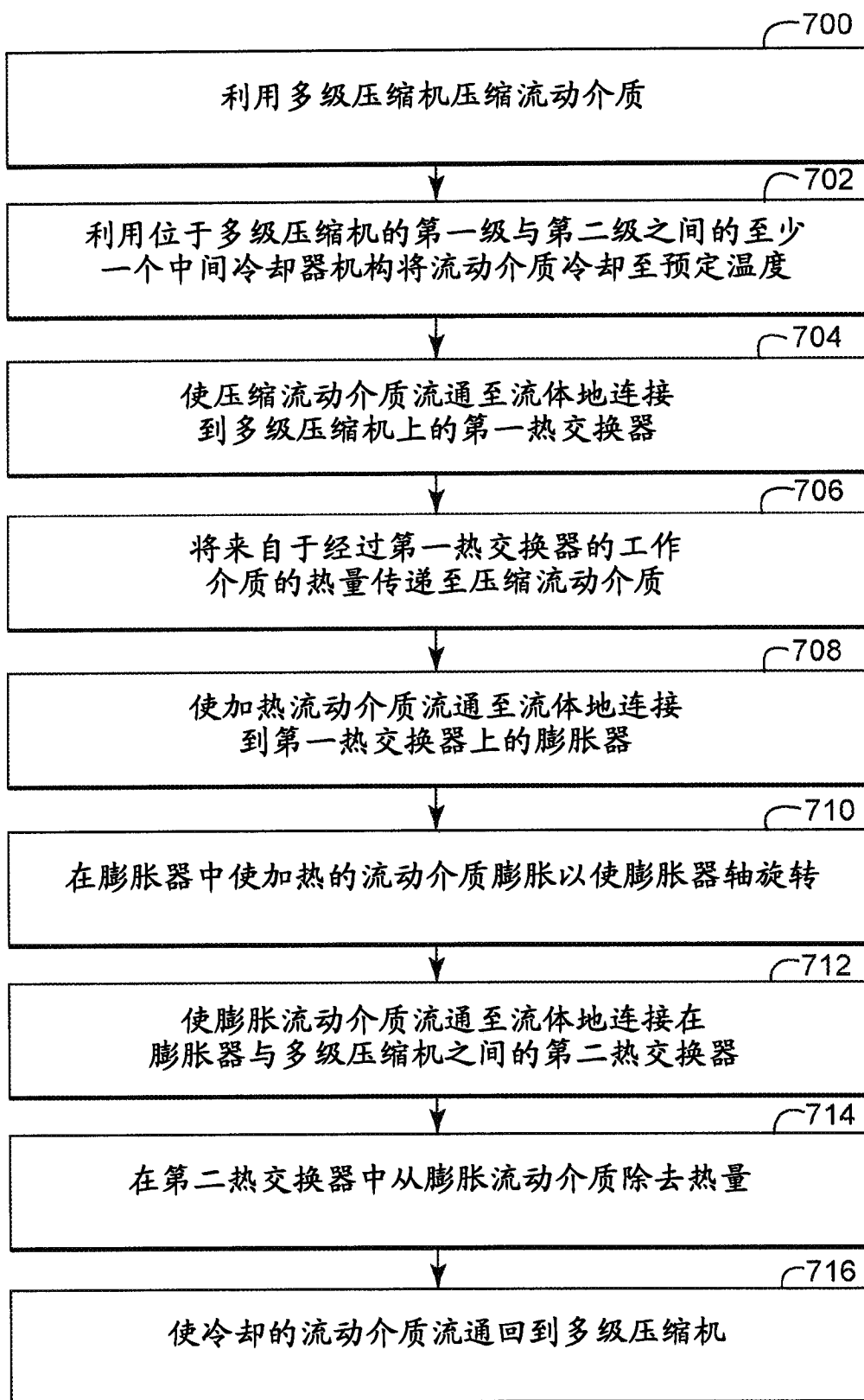


图 7