



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112368464 B

(45) 授权公告日 2023. 06. 20

(21) 申请号 201980044857.4
 (22) 申请日 2019.06.10
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 112368464 A
 (43) 申请公布日 2021.02.12
 (30) 优先权数据
 102018000006187 2018.06.11 IT
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日
 2020.12.31
 (86) PCT国际申请的申请数据
 PCT/EP2019/025175 2019.06.10
 (87) PCT国际申请的公布数据
 W02019/238268 EN 2019.12.19
 (73) 专利权人 诺沃皮尼奥内技术股份有限公司
 地址 意大利佛罗伦萨
 (72) 发明人 俄内斯托·纳西尼 马可·圣蒂尼

弗朗西斯科·贝兰顿
 弗朗西斯科·基耶西
 (74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
 专利代理师 金飞 陈浩然
 (51) Int.Cl.
 F01K 25/10 (2006.01)
 F01K 7/36 (2006.01)
 (56) 对比文件
 US 2012174585 A1, 2012.07.12
 US 2012174585 A1, 2012.07.12
 US 2012039701 A1, 2012.02.16
 CN 102695860 A, 2012.09.26
 CN 108005743 A, 2018.05.08
 US 2016369658 A1, 2016.12.22
 WO 2015024071 A1, 2015.02.26
 审查员 黄越

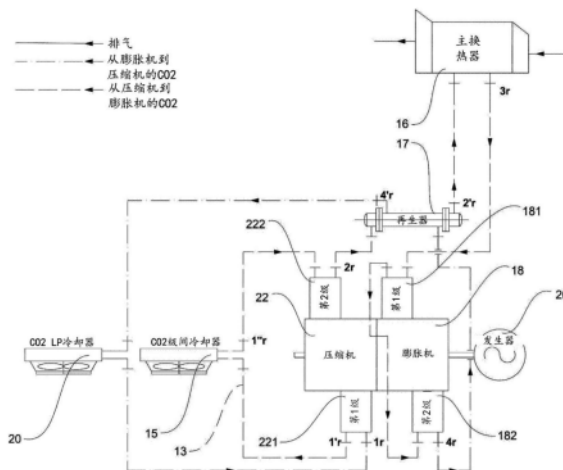
权利要求书2页 说明书7页 附图7页

(54) 发明名称

用于回收废热的系统及其方法

(57) 摘要

一种基于布雷顿循环的废热回收系统包括加热器,该加热器被配置为使二氧化碳蒸气与热流体成热交换关系而循环,以加热该二氧化碳蒸气。膨胀机连接到该加热器并且被配置为使该二氧化碳蒸气膨胀。压缩机被配置为压缩通过冷却器进给的二氧化碳蒸气,并且换热器适于使该二氧化碳蒸气与从该压缩机到该加热器的该二氧化碳蒸气成热交换关系而从该膨胀机循环到该冷却器,其中该膨胀机和该压缩机是机械联接的容积式机器。



1. 一种废热回收系统,所述废热回收系统包括:
布雷顿循环系统,所述布雷顿循环系统包括:
加热器(16),所述加热器被配置为使二氧化碳蒸气与热流体成热交换关系而循环以加热所述二氧化碳蒸气;
膨胀机(18),所述膨胀机联接到所述加热器(16)并且被配置为使所述二氧化碳蒸气膨胀;
冷却器(20);
压缩机(22),所述压缩机被配置为压缩通过所述冷却器(20)进给的所述二氧化碳蒸气;和
换热器(17),所述换热器被配置为使所述二氧化碳蒸气与从所述压缩机(22)到所述加热器(16)的所述二氧化碳蒸气成热交换关系而从所述膨胀机(18)循环到所述冷却器(20),
其中所述膨胀机(18)和所述压缩机(22)是机械联接的容积式机器,
其中所述压缩机为包括多个串联布置的压缩机级(221,222)的多级压缩机,其中在顺序布置的压缩机级对之间布置有相应的级间换热器(15),其中所述级间换热器(15)被配置为从循环自连续压缩机级的压缩的二氧化碳蒸气中除去热量,并且
其中所述布雷顿循环系统包括:分离机转鼓(23,24),所述分离机转鼓置于所述级间换热器(15)的下游并且适于分离和收集冷凝的冷却液体;泵(25),所述泵适于压缩来自所述分离机转鼓(23,24)的所述冷却液体并且在所述压缩机级(221,222)中注入所述压缩的液体。
2. 根据权利要求1所述的系统,其中所述容积式机器选自由以下项组成的组:往复式机器、径向膨胀机/压缩机、轴向膨胀机/压缩机、螺杆膨胀机/压缩机、脉冲膨胀机/压缩机或它们的组合。
3. 根据权利要求1或2所述的系统,其中所述级间换热器(15)为液体冷却式。
4. 根据权利要求3所述的系统,其中所述液体为水或水基混合物。
5. 根据权利要求1或2所述的系统,其中所述压缩机和所述膨胀机被配置为在所述布雷顿循环的介于50°C和410°C之间的温度范围内在等压线40巴和260巴之间工作。
6. 根据权利要求1或2所述的系统,其中所述压缩机和所述膨胀机被配置为在1.5kJ/kgK和2.5kJ/kgK之间的熵范围内工作。
7. 根据权利要求1或2所述的系统,其中所述加热器被配置为与废热源联接,所述废热源包括内燃机、地热源、太阳能热源、工业热源和住宅热源。
8. 根据权利要求1或2所述的系统,其中所述加热器是被进给燃料以实现二氧化碳引擎的燃烧器。
9. 根据权利要求1或2所述的系统,其中所述膨胀机在具有或不具有离合器的情况下与操作机器机械地联接,以收集所产生的功率。
10. 一种往复式压缩机系统,所述往复式压缩机系统包括:
机架;
曲轴,所述曲轴旋转地支撑在所述机架中并且由多个曲柄销构成;
至少一个压缩气缸-活塞布置结构,所述至少一个压缩气缸-活塞布置结构由压缩气缸和在其中往复运动并且驱动地连接到所述曲柄销中的相应一个曲柄销的压缩活塞构成;

CO₂布雷顿引擎,所述CO₂布雷顿引擎包括:

加热器,所述加热器被配置为使二氧化碳蒸气与热流体成热交换关系而循环以加热所述二氧化碳蒸气;

膨胀机,所述膨胀机联接到所述加热器并且被配置为使所述二氧化碳蒸气膨胀;

冷却器;

压缩机,所述压缩机被配置为压缩通过所述冷却器进给的所述二氧化碳蒸气;和

换热器,所述换热器被配置为使所述二氧化碳蒸气与从所述压缩机到所述加热器的所述二氧化碳蒸气成热交换关系而从所述膨胀机循环到所述冷却器,

其中所述膨胀机和所述压缩机是机械联接的容积式机器,所述容积式机器驱动地连接到所述曲柄销中的至少一个曲柄销,使得由所述布雷顿引擎产生的功率驱动所述至少一个压缩气缸-活塞布置结构,其中所述压缩机为包括多个串联布置的压缩机级的多级压缩机,其中在顺序布置的压缩机级对之间布置有相应的级间换热器,其中所述级间换热器被配置为从循环自连续压缩机级的压缩的二氧化碳蒸气中除去热量,并且

其中所述布雷顿引擎包括:分离机转鼓,所述分离机转鼓置于所述级间换热器的下游并且适于分离和收集冷凝的冷却液体;泵,所述泵适于压缩来自所述分离机转鼓的所述冷却液体并且在所述压缩机级中注入所述压缩的液体。

11. 一种用于操作布雷顿循环系统的方法,所述方法包括:

经由所述布雷顿循环系统的加热器使二氧化碳蒸气与热流体成热交换关系而循环,以加热所述二氧化碳蒸气;

经由联接到所述布雷顿循环系统的所述加热器的膨胀机使所述二氧化碳蒸气膨胀;

经由所述布雷顿循环系统的冷却器冷却来自所述膨胀机的所述二氧化碳蒸气;

经由所述布雷顿循环系统的压缩机压缩通过所述冷却器进给的所述二氧化碳蒸气;

使所述二氧化碳蒸气与来自所述膨胀机的所述二氧化碳蒸气成热交换关系而从所述压缩机循环到所述加热器,以便预加热所述二氧化碳蒸气,

其中所述压缩步骤包括在经由级间换热器的级间冷却之后压缩在连续压缩机级中循环的二氧化碳蒸气以降低压缩功率,并且

其中所述布雷顿循环系统包括:分离机转鼓,所述分离机转鼓置于所述级间换热器的下游并且适于分离和收集冷凝的冷却液体;泵,所述泵适于压缩来自所述分离机转鼓的所述冷却液体并且在所述压缩机级中注入所述压缩的液体。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中所述压缩步骤包括在介于50°C和110°C之间的温度范围内将所述二氧化碳蒸气从40巴±15%压缩到260巴±15%。

13. 根据权利要求11或12所述的方法,其中膨胀包括在介于400°C和230°C之间的温度范围内将所述二氧化碳蒸气从260巴±10%膨胀到40巴±15%。

14. 根据权利要求11或12所述的方法,其中预加热包括将所述二氧化碳蒸气从110°C±15%加热到160°C±15%。

15. 根据权利要求11或12所述的方法,其中使二氧化碳蒸气与热流体成热交换关系而循环包括用燃烧器加热二氧化碳蒸气。

用于回收废热的系统及其方法

背景技术

[0001] 本文所公开的实施方案整体涉及用于回收废热的热循环系统的领域,并且更具体地涉及用于回收废热的复合闭环热布雷顿循环系统及其方法。

[0002] 多种工业以及商业过程和操作产生大量废热。示例性废热源包括来自加热组件、蒸气锅炉、引擎和冷却系统的热量。术语“废热”涵盖通过初级过程放出的通常不被用作能量源的任何残热供应,能量源包括但不限于太阳能或地热。

[0003] 一些发电系统利用诸如沼气或垃圾填埋气的替代燃料提供了更好的可靠性和离网运行,例如燃气涡轮和内燃机(诸如微型涡轮机和往复式引擎)。内燃机可用于使用燃料(诸如汽油、天然气、沼气、植物油和柴油燃料)来发电。然而,可能会排放大气污染物,诸如氮氧化物、二氧化碳和颗粒。

[0004] 从内燃机的废热发电而不增加排放的一种方法是施加底层蒸气朗肯循环。朗肯循环通常包括涡轮发电机、蒸发器/锅炉、冷凝器和液体泵。然而,由于较高的成本以及在操作期间需要持续监督,水基蒸气朗肯循环在所述低热(并且因此低电)废热区域中没有吸引力。仅在特定的循环温度和压力范围内,使用蒸气作为工作流体可能是最佳的。这种传统的蒸气朗肯底循环需要在相对低的压力下冷凝,这意味着低压涡轮和冷凝器的体积较大。因此,考虑到低温废热造成的相对小的功率和效率,传统的底层蒸气朗肯循环系统的安装过于庞大和复杂。蒸气冷凝的低压带来了其它复杂性,诸如需要特殊的排气单元来除去从外部泄漏到亚大气压力容器中的大气空气。

[0005] 在有机朗肯循环(ORC)(即,采用了有机流体的朗肯循环)的情况下,性能受到若干因素的限制,诸如在ORC内循环的流体的降解和工作约束、因其化学组成而引起有关工作流体的EHS隐患以及工作流体的热传递约束,从而导致系统成本增加。事实上,采用热传递流体(诸如导热油)的必要性降低了过程的可用焓,增加了装置的复杂性和成本。

[0006] 对于低功率应用(0.1÷2MW),期望有一种简单的系统和方法,其能够有效地回收废热并且不受在朗肯循环系统内循环的蒸气工作流体的约束,并且无人操作而无需任何监督。

发明内容

[0007] 根据本文所讨论的一个或多个实施方案,公开了一种废热回收循环系统及相关方法。示例性热回收循环系统包括布雷顿循环系统,该布雷顿循环系统具有加热器,该加热器被配置为使二氧化碳蒸气与热流体成热交换关系而循环,以加热二氧化碳蒸气。根据示例性实施方案,示例性废热回收系统与热源集成(直接联接),以允许更高效地回收废热,以便转化成用于发电和/或机械应用(诸如驱动泵或压缩机)的机械功率。热源可包括内燃机、燃气涡轮、地热源、太阳能热源、工业热源和住宅热源。

[0008] 因此可以获得一种系统,该系统提供:

[0009] 高效且高性价比的解决方案(由于选择CO₂作为工作流体,因此装备较小),用于将废热转化成机械能,这归功于可以将工作流体与热源直接联接(温差较高并且因此效率较

高),而由于诸如降解和EHS隐患的工作流体特征,这在ORC的情况下不可能实现;

[0010] 安全且环境友好的解决方案(CO₂无EHS隐患);广泛的操作范围,这是由于循环仅可预测单相流体,因此不受环境条件的影响,因为不需要在所有环境条件下都达到冷凝相,而是在具有两相流体的废热回收朗肯循环中需要冷凝相。

[0011] 一种不需要冷凝的解决方案,使得较高的环境温度仍适合于冷却,由于冷却器尺寸较小,这是与其它朗肯循环相比的一个主要优点。

[0012] 不具有冷凝器的另一个优点与系统组件的布置有关,因为既不需要限制和约束,也不需要特殊的辅助设备,诸如热阱、疏水管道坡度、低NPSH泵等。

[0013] 与本公开有关的另外的有益效果是,可以使用最少的现场活动(调试和现场测试)建造即插即用撬装装置;在满足所有环境要求且尺寸不超过10MW的小规模应用中,利用废热资源进行电力生产和/或机械驱动应用的可能性,并且缺少水作为沸腾流体,这需要操作员注意。

附图说明

[0014] 通过下面结合附图考虑的示例性实施方案的描述,本公开将变得更加显而易见,附图中:

[0015] 图1示出理想布雷顿循环的T-S图;

[0016] 图2示出布雷顿引擎;

[0017] 图3示意性地示出根据本文的实施方案的改进的真实布雷顿循环;

[0018] 图4示出根据本文的实施方案的用于回收废热的系统的第一示意图;

[0019] 图5示出根据本文的实施方案的系统中的压缩机和膨胀机的示例性配置;

[0020] 图6示出包括一个或多个离合器的系的示例性配置;

[0021] 图7示出根据本文的实施方案的由CO₂引擎驱动的电机压缩机的两种配置;

[0022] 图8示出用于燃料分配的系统的框图;

[0023] 图9是示出根据本文的实施方案的方法的操作的流程图;并且

[0024] 图10示出根据本文的实施方案的用于回收废热的系统的第二示意图。

具体实施方式

[0025] 根据第一示例性实施方案,一种基于布雷顿循环的废热回收系统包括加热器,该加热器被配置为使二氧化碳蒸气与热流体成热交换关系而循环,以加热二氧化碳蒸气;膨胀机,该膨胀机联接到加热器并且被配置为使二氧化碳蒸气膨胀;压缩机被配置为压缩通过冷却器进给的二氧化碳蒸气,并且换热器适于使二氧化碳蒸气与从压缩机到加热器的二氧化碳蒸气成热交换关系而从膨胀机循环到冷却器,其中膨胀机和压缩机是机械联接的容积式机器,诸如往复式机器、径向膨胀机/压缩机、轴向膨胀机/压缩机、螺杆膨胀机/压缩机、脉冲膨胀机/压缩机或它们的组合。

[0026] 为了提高系统的效率,在一个实施方案中,压缩机为包括多个串联布置的压缩机级的多级压缩机,其中在顺序布置的压缩机级对之间布置有相应的级间换热器,其中级间换热器被配置为从连续压缩机级循环的压缩的二氧化碳蒸气中除去热量。

[0027] 另一个实施方案涉及一种方法,该方法包括经由布雷顿循环系统的加热器使二氧

化碳蒸气与热流体成热交换关系而循环,以加热二氧化碳蒸气。然后使二氧化碳蒸气首先经由联接到布雷顿循环系统的加热器的膨胀机膨胀,然后经由冷却器冷却。然后将二氧化碳蒸气送至布雷顿循环系统的压缩机以进行压缩,然后将其与来自膨胀机的二氧化碳蒸气成热交换关系而从压缩机循环到加热器,以便预加热二氧化碳蒸气。

[0028] 理想的布雷顿循环包括两个等熵过程和两个等压过程,如图1中所描绘的T-S图所示。等压过程涉及过程流体的加热和冷却,而等熵过程涉及过程流体的膨胀和压缩。

[0029] 参考图2(图2示出例示的布雷顿引擎),过程流体由压缩机使用压缩功率 L_c 而从点1至点2等熵地压缩,由加热器提供热量 Q_{in} 而从点2至点3等压地加热,由膨胀机产生膨胀功率 L_e 而从点3至点4等熵地膨胀,由冷却器交换热量 Q_{out} 而从点4至点1等压地冷却。

[0030] 随着压缩机和膨胀机的机械联接,机械能够产生的净功率为 $L_n = L_e - L_c$ 。效率 η 是净功率 L_n 与热量 Q_{in} 之间的比率,并且可示出为:

$$[0031] \quad \eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \beta^{-\varphi}$$

[0032] 其中 T_1 和 T_2 分别为压缩之前和之后的温度, β 为压缩比 $p_2/p_1 = p_3/p_4$, $\varphi = 1 - 1/k$,其中 k 为在恒定压力 C_p 和恒定体积 C_v 下过程流体的比热之间的比率。

[0033] 净功率 L_n 可表示为 β 与 T_1 、 T_3 的函数,如下:

$$[0034] \quad L_n = (1 - \beta^{-\varphi}) C_p T_1 \left(\frac{T_3}{T_1} - \beta^{\varphi} \right)$$

[0035] 求微分,可以表明,当 $T_2 = T_4 = \sqrt{T_3 T_1}$ 时,获得最大净功率。

[0036] 发明人发现,与其他气体如 N_2 、He、Ne、Ar、Xe相比,作为过程流体的二氧化碳具有非常好的净功率/压缩功率比 L_n/L_c (0.716),但不良的效率 η (0.28)。例如,氮具有0.37的理想效率,但不良的 L_n/L_c (0.343)。氦具有甚至更高的理想效率 (0.47),但不良的 L_n/L_c (0.109)。这意味着,为了产生1MW的净功率,对于 CO_2 ,需要1.4MW的压缩功率(在理想条件下),而对于氮,需要2.9MW的压缩功率,并且对于氦,需要9.2MW的压缩功率。

[0037] 从理想世界转变到现实世界,压缩功增加而膨胀功减少,因此,对于低 L_n/L_c 值,净功率可变成压缩功的极低百分比,甚至为负值。因此,在本文的实施方案中,优选地使用能够提高效率的布置结构来选择二氧化碳作为处理流体。

[0038] 此外,使用二氧化碳作为工作流体还具有不易燃、无腐蚀性、无毒并且能够承受高循环温度(例如,高于400摄氏度)的优点。二氧化碳也可超临界地加热到高温而无化学分解的风险。

[0039] 由于效率是净功率和处理流体与热源交换的热量之间的比率,因此在一种布置结构中,通过在压缩机输送的二氧化碳到达加热器之前预加热二氧化碳来减少此类热量,从而提高效率。这可有利地通过使用存在于从膨胀机排出的流体中的部分热量来实现,即,通过使用所谓的再生器来实现,如下文将解释的。

[0040] 在另一种布置结构中,通过使用级间冷却来降低压缩功率,从而提高效率。

[0041] 在图3的T-S图中示出这两种布置结构(它们明显可彼此独立地存在)的组合的效果。

[0042] 水平虚线上的点 $4'r$ 至点 $2'r$ 反映了再生,而中间等压线的点 $1'r$ 至点 $1'r$ 表示级间

压缩机冷却。此处描绘了真实循环,其中图1的等熵曲线被倾斜(多熵)曲线替代,以考虑到在真实膨胀和压缩中,总是会交换一些热量。

[0043] 参考图4,示出了根据一个示例性实施方案的废热回收系统。

[0044] 加热器16联接到热源,例如热发生系统(例如,引擎)的排气装置。在操作中,加热器16接收来自热流体(例如,从热源产生的废气)的热量,该热流体加热穿过与加热器联接的管道的二氧化碳蒸气。在一个具体实施方案中,从加热器16排出的二氧化碳蒸气可处于约410摄氏度的第一温度和约260巴的第一压力。热的二氧化碳蒸气离开加热器,流到膨胀机18并且穿过该膨胀机以使二氧化碳蒸气膨胀。随着加压的热二氧化碳蒸气的膨胀,这使轴转动,该轴被配置为驱动第一发生器26,该第一发生器产生电力。随着膨胀,二氧化碳蒸气还冷却,并且随着其膨胀而减压。因此,在一个具体实施方案中,二氧化碳蒸气可在约230摄氏度的第二较低温度和约40巴的第二较低压力下从膨胀机18排出。

[0045] 暂停考虑膨胀机的结构,可以看到在一个实施方案中,膨胀机具有多个串联布置的膨胀机级。每个膨胀机级可具有一个或多个膨胀机(诸如往复式膨胀机)或由一个或多个膨胀机形成。在其它实施方案中,每个膨胀机级可包括单个容积式膨胀机。以说明而非限制的方式,图4所示的实施方案包括两个串联布置的膨胀机级(标记为181、182),其中膨胀机级181、182各自具有一个膨胀机。

[0046] 继续描述新系统的操作循环,现在接着是冷却的减压的二氧化碳,随着它从单个膨胀机18或最后一个膨胀机182流入并且通过低压(LP)冷却器20,它仍处于第二温度和第二压力。LP冷却器20被配置为将二氧化碳蒸气进一步过冷至约40°C至50°C的第三温度(低于第一温度或第二温度,不管是单独还是组合)。二氧化碳蒸气从LP冷却器20排出并且流入并通过压缩机22,该压缩机用来将二氧化碳蒸气压缩并且加热到基本上更高的第四温度以及使其到第四压力。顺便说一下,需注意,第四压力可与上述第一压力大致相同或相等。因此,仅以举例的方式,在一个实施方案中,现在从压缩机22排出的两次加热的二氧化碳蒸气处于约110°C的第四温度和约260巴的第四压力。

[0047] 现在将进一步描述压缩机22。在一个实施方案中,压缩机22可为多级压缩机,其中在多级压缩机的每个级之间设置有级间冷却器。该系统可包括多个串联布置的压缩机级,每个压缩机级包括一个或多个往复式压缩机。在一些实施方案中,每个压缩机级可包括单个往复式压缩机。图4所示的实施方案包括两个串联布置的压缩机级(标记为221、222),每个压缩机级包括一个压缩机。

[0048] 在图4的图解示意图中,两个压缩机级221、222成对。每对相对布置的压缩机级对由公共轴驱动。在一个实施方案中,齿轮箱将各种轴连接到膨胀机18。当然,其它配置也是可能的。

[0049] 重启系统的操作循环,返回到二氧化碳蒸气在1r(在上述第三压力和第三温度下)进入第一压缩机级221并且在1'r从所述第一压缩机级221排出的位置。流动路径13可从压缩机级221的出口侧延伸到压缩机级222的入口侧。沿着流动路径13设置有级间换热器或冷却器15。所述级间冷却器在下文将被指示为级间换热器15。因此,流过流体路径13的(现在)压缩的二氧化碳蒸气也流经级间换热器15并且被冷却流体例如空气冷却,该冷却流体通过管道(未示出)流入并且流过级间换热器15中的单独路径。在一些实施方案中,空气可在大约30°C下进入级间换热器15并且在大约50°C至60°C下从换热器15排出,这意味着空气已从

压缩的二氧化碳蒸气吸收了约20℃以上的热量,从而冷却(或至少降低二氧化碳蒸气原本将达到的温度)。这些值仅以举例的方式给出,不应被视为限制本文所公开的主题的范围。

[0050] 半冷却的二氧化碳足够量地进入第二压缩机级222,在2r从所述压缩机级222排出。

[0051] 在一个实施方案中,该系统包括换热器17(也称为再生器),该换热器被配置为使冷却的、膨胀的、压力较低的二氧化碳蒸气的一部分从膨胀机18循环到LP冷却器20,使得相对于从压缩机22排出并且流到加热器16的二氧化碳蒸气发生热交换关系,以允许将二氧化碳蒸气预加热到高达160℃,然后再重新进给到加热器并且开始新的循环。

[0052] 本文的实施方案还涉及CO₂布雷顿引擎,该CO₂布雷顿引擎包括通过压缩气缸内部的液体(例如,水或其混合物)注入进行的级间冷却。

[0053] 在双作用压缩机气缸中,随着活塞的运行,一端(例如,头端)的压力上升,而相对端的压力降低。压力在相反的冲程反向,根据下式: $P \cdot V^n = \text{const}$ 。根据式 $T P^{(1-n)/n} = \text{const}$,温度随压力增加。

[0054] 因此,限制气缸中的温度上升,并且因此限制比体积和体积流量的对应增加,将减少压缩功(与PdV的积分成比例),从而提高循环的总体效率。

[0055] 为了实现对气缸中的温度上升和比体积的对应增加的限制,可将液体(例如,水的混合物)的喷雾直接注入气缸的有效作用侧,以便减少压缩功。

[0056] 液体的压力应高于实际气体压力,以便胜过阻力并且有助于雾化,而待喷洒液体的温度应为环境条件所允许的最低温度。液体流量应使它的分压在汽化后始终低于与预期气体温度(即,冷却后的气体温度)相对应的蒸气压,以防止出现可能对气缸部件(例如,压缩机阀)造成危险的任何痕量液滴。在从压缩气缸排出之后,所注入的液体被掺入混合物中,直到它在级间冷却器和最终冷却器中被冷却和冷凝。然后所注入的液体被泵压缩并且重新注入,从而在闭环中工作。

[0057] 与系统的总体功率增加相比,液体泵的功率消耗可忽略不计。

[0058] 由于与CO₂混合的混合物中的液体蒸气摩尔分数随混合物温度而增加并且随混合物压力而降低,因此在较低的压力和较高的温度下,液体喷雾注入更为有效。因此,随着压缩级的增加,应仔细评估施加液体喷雾注入的情况。

[0059] 在该系统的T-s图中,由于体积流量的减小和多熵效率的提高,压缩功降低;整个循环面积以及总体效率增加。级间冷却器的热负荷保持不变,并且因换热器入口处的较低混合物温度而引起的较低EMTD通过因混合物中的冷凝H₂O而引起的增加的总体热传递系数进行补偿。

[0060] 在图10中示出上文所述的包括级间冷却的CO₂布雷顿引擎的示意图。集成式分离机转鼓23、24被置于级间换热器或冷却器15、20的下游,以分离和收集冷凝的液体,然后再将其在泵25中进行压缩,随后再次注入到压缩机级221、222中。

[0061] 容积式膨胀机和容积式压缩机(其形成二氧化碳引擎)可为任何已知类型,以任何已知方式机械地连接。例如,它们可以是往复式机器、径向膨胀机/压缩机、轴向膨胀机/压缩机、螺杆膨胀机/压缩机、脉冲膨胀机/压缩机或它们的组合。

[0062] 图5中示出了一个示例。此处,该对压缩机/膨胀机包括第一气缸51,其中第一活塞53滑动地移动。还设置有第二气缸55,其相对于气缸51以例如90°取向。第二活塞57滑动地

布置在第二气缸55中。

[0063] 第一连杆59将第一活塞53连接到曲轴的曲柄销61,从而形成输出轴63的一部分。曲轴优选地旋转地支撑在机架中。第二连杆65将第二活塞57连接到同一输出端63。飞轮67可安装在输出轴63上。因此,膨胀机和压缩机是机械联接的容积式机器,其驱动地连接到所述曲柄销中的至少一个曲柄销,使得布雷顿引擎产生的功率驱动至少一个压缩气缸活塞布置结构。

[0064] 输出轴63上可用的功率可用于驱动发电机或任何其它机械,例如如在W0 2015/113951A1中所公开的压缩系,该专利被认为以引用方式并入本文。

[0065] 本文的实施方案还涉及CO₂布雷顿引擎,该CO₂布雷顿引擎包括加热器16,该加热器在操作中被配置为通过与热流体进行热交换来循环和加热二氧化碳蒸气;二氧化碳蒸气被进给到膨胀机18,该膨胀机联接到加热器16并且被配置为冷却并降低二氧化碳蒸气的压力,然后再将二氧化碳蒸气首先进给到换热器17,随后进给到LP冷却器20,随后进给到压缩机22,该压缩机适于增加通过冷却器进给的二氧化碳蒸气的压力和温度。换热器17(也称为再生器)被配置为使二氧化碳蒸气与从压缩机到主换热器16的二氧化碳蒸气成热交换关系而从膨胀机循环到LP冷却器20并且预冷却,以允许将二氧化碳蒸气预加热到高达160°C,然后再进给到主换热器16并且开始新的循环。膨胀机和压缩机是机械联接的容积式机器,其驱动地连接到所述曲柄销中的至少一个曲柄销,使得由所述布雷顿引擎产生的功率驱动连接到曲柄销的至少一个压缩气缸活塞布置结构。

[0066] 实施方案还涉及一种用于操作布雷顿引擎的方法。参考图9的流程图,该方法的操作包括使二氧化碳蒸气循环通过布雷顿循环系统的加热器的步骤,其中在热流体与二氧化碳蒸气之间进行热交换;然后是经由联接到布雷顿循环系统的加热器的膨胀机使二氧化碳蒸气膨胀的后续步骤,例如在介于400°C±15%和230°C±15%之间的温度范围内从260巴±10%膨胀到40巴±15%;然后是经由布雷顿循环系统的冷却器冷却来自膨胀机的二氧化碳蒸气的另一个步骤;然后是经由布雷顿循环系统的压缩机压缩通过冷却器进给的二氧化碳蒸气的另一个步骤。通常选择此类压缩步骤以使二氧化碳蒸气在介于50°C±15%和110°C±15%之间的温度范围内从40巴±10%的压力升至260巴±15%。然后采取最后一个步骤,以使二氧化碳蒸气与来自膨胀机的二氧化碳蒸气成热交换关系而从压缩机循环到加热器,以便预加热二氧化碳蒸气,例如从110°C±15%预加热到160°C±15%。

[0067] 在一个实施方案中,通过在级间冷却之后压缩在连续压缩机级中循环的二氧化碳蒸气来进行压缩步骤,以便降低压缩功率并且因此提高效率。

[0068] 使二氧化碳蒸气与热流体成热交换关系而循环可有利地包括用废热源加热二氧化碳蒸气,该废热源包括例如内燃机、燃气涡轮、地热源、太阳能热源、工业热源和住宅热源等。废热源可直接加热二氧化碳或通过辅助流体加热二氧化碳。

[0069] 另选地,使二氧化碳蒸气与热流体成热交换关系而循环可包括用燃烧器加热二氧化碳蒸气。这允许实现非常紧凑且强大的二氧化碳引擎以便用于各种应用,诸如用于压缩燃料分配器中的流体。

[0070] 本公开的教导内容可找到若干应用。一个示例是如图8所示的燃料分配,其中CO₂引擎用于驱动CNG压缩机。此处,加热器是由管道天然气供气的燃烧器。该系统非常紧凑,并且可很容易以各种配置包装在盒子中,例如,如图7所示。

[0071] 图6示出了包括一个或多个离合器的系的其他可能配置,例如被认为是本公开的一部分的US 2016/0341187A1、US 2016/0341188、US 2016/0348661中所公开。

[0072] 本发明的实施方案可存在于如下所述的条款或其任何组合中。

[0073] 虽然本文仅示出和描述了所公开的实施方案的某些特征,但本领域的技术人员将想到许多修改和变化。因此,应当理解,所附权利要求旨在涵盖落入本公开的真实实质内的所有此类修改和变化。

[0074] 本说明书通篇对“一个实施方案”或“实施方案”的提及意指结合实施方案描述的特定特征、结构或特性包括在所公开的主题的至少一个实施方案中。因此,在本说明书通篇多处出现的短语“在一个实施方案中”或“在实施方案中”不一定是指相同的实施方案。此外,在一个或多个实施方案中,特定特征、结构或特性可以任何合适的方式组合。示例性实施方案的描述参考附图。不同附图中的相同参考标号标识相同或类似的元件。本详细描述不限制本发明。相反,本发明的范围由所附权利要求限定。

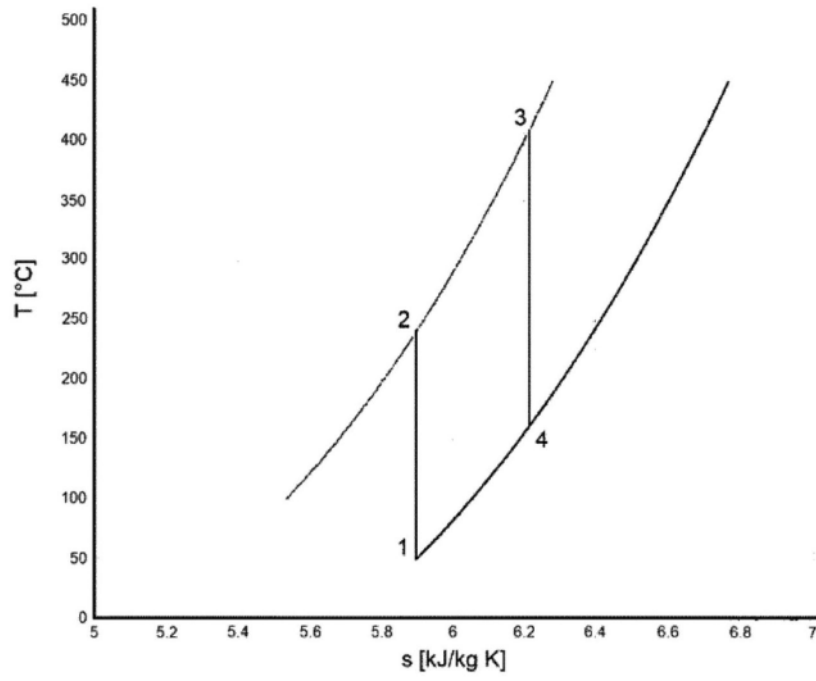


图1

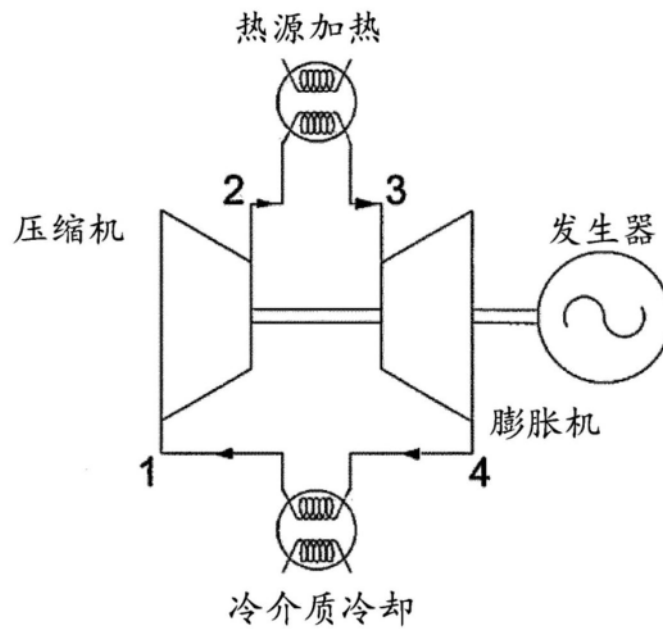


图2

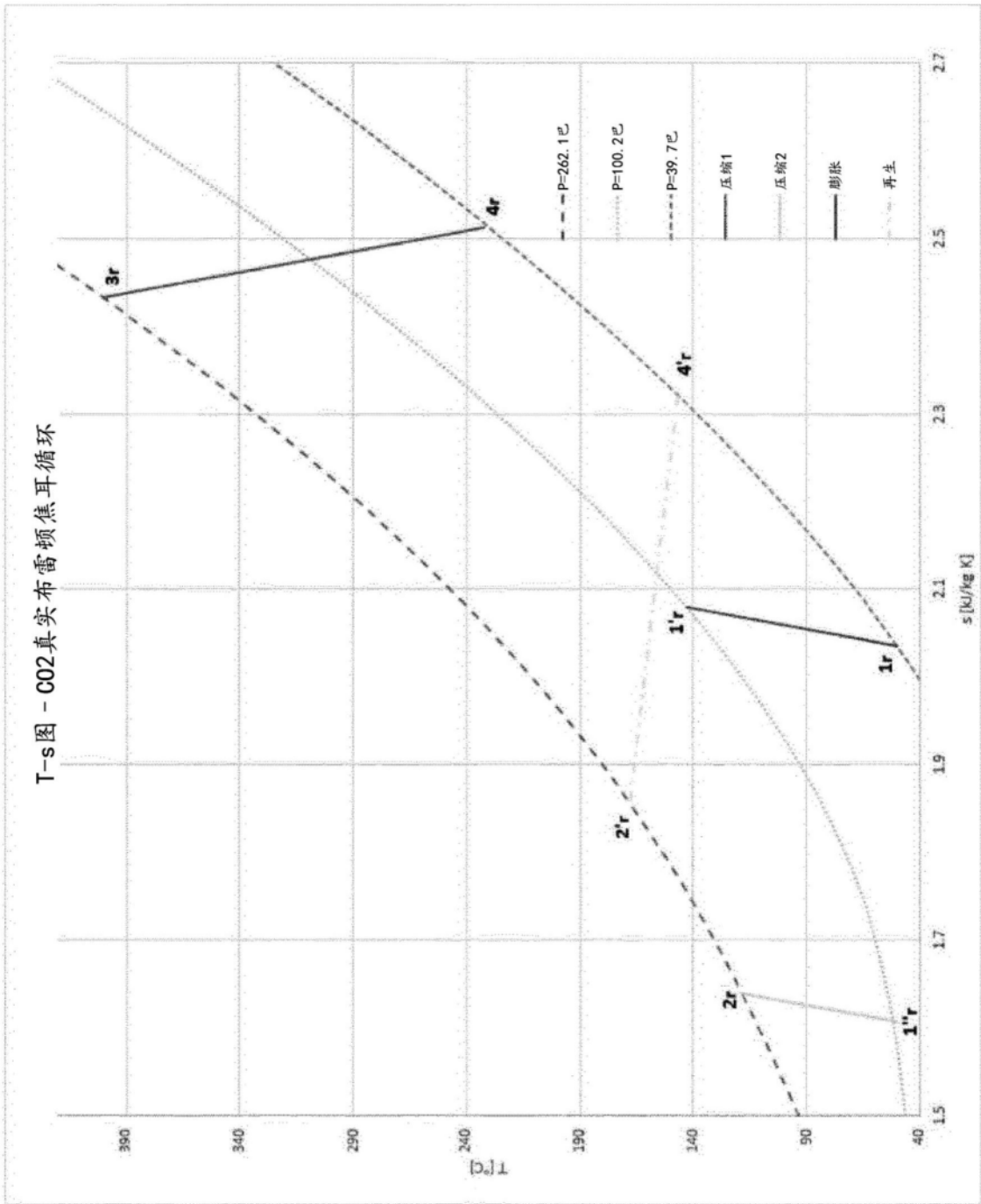


图3

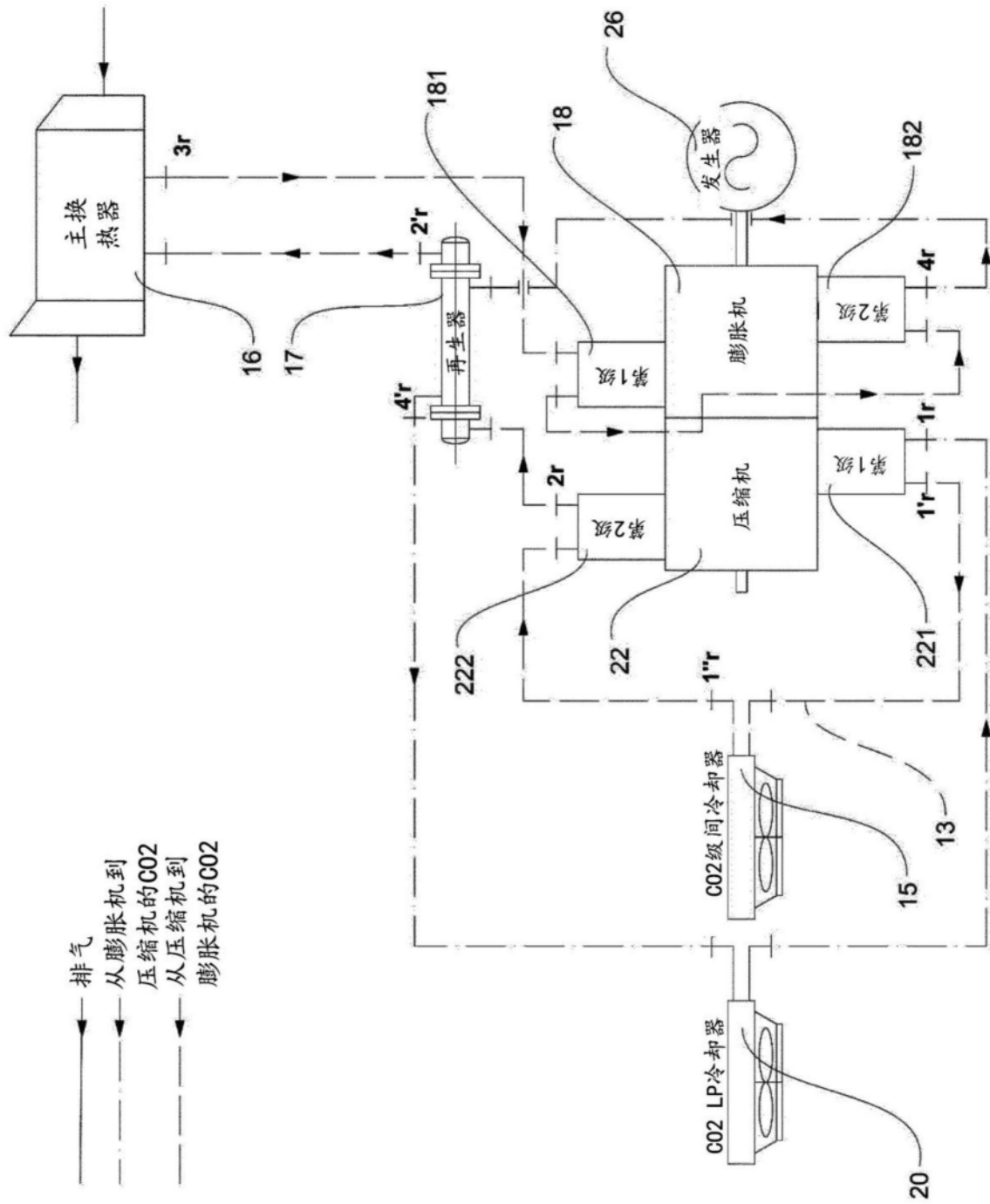


图4

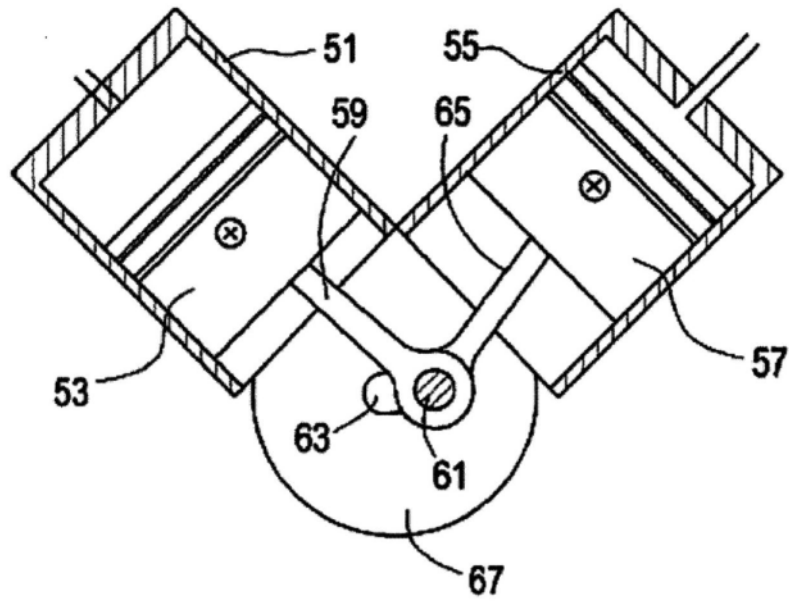


图5

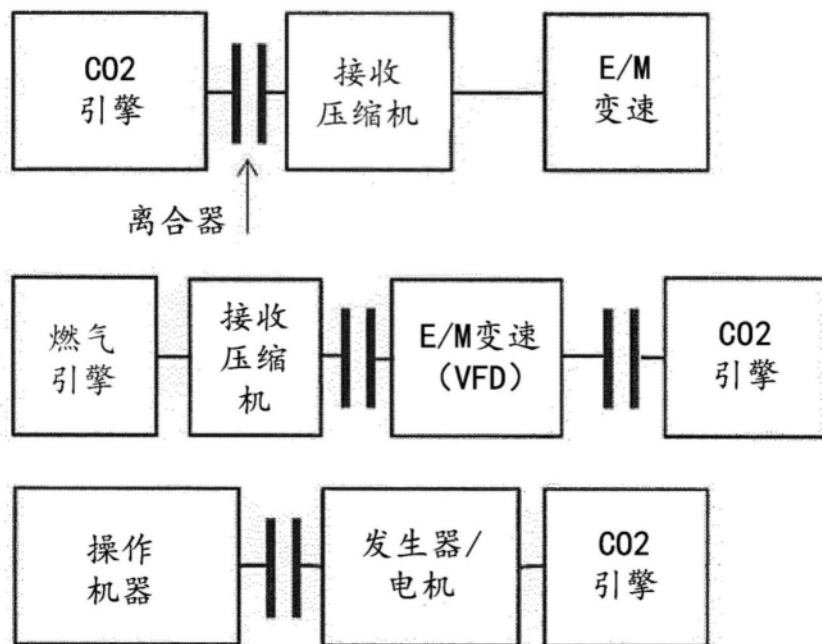


图6

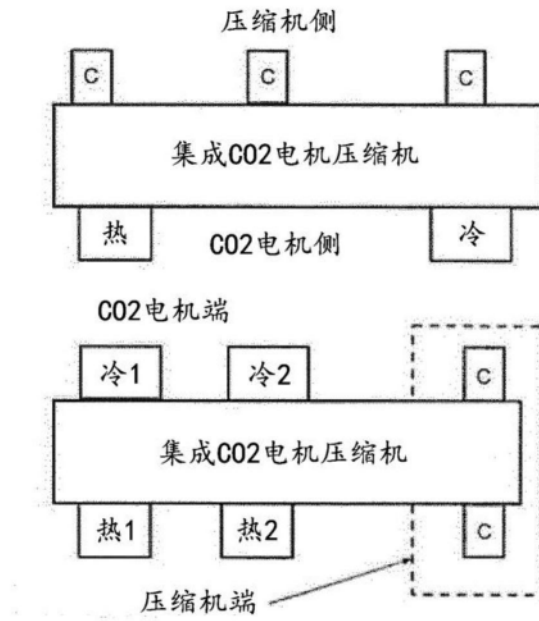


图7

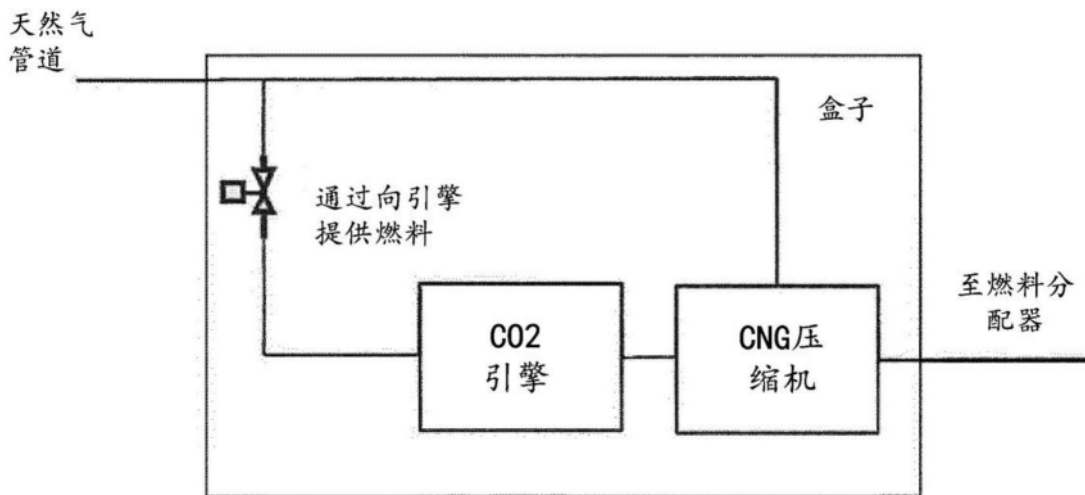


图8

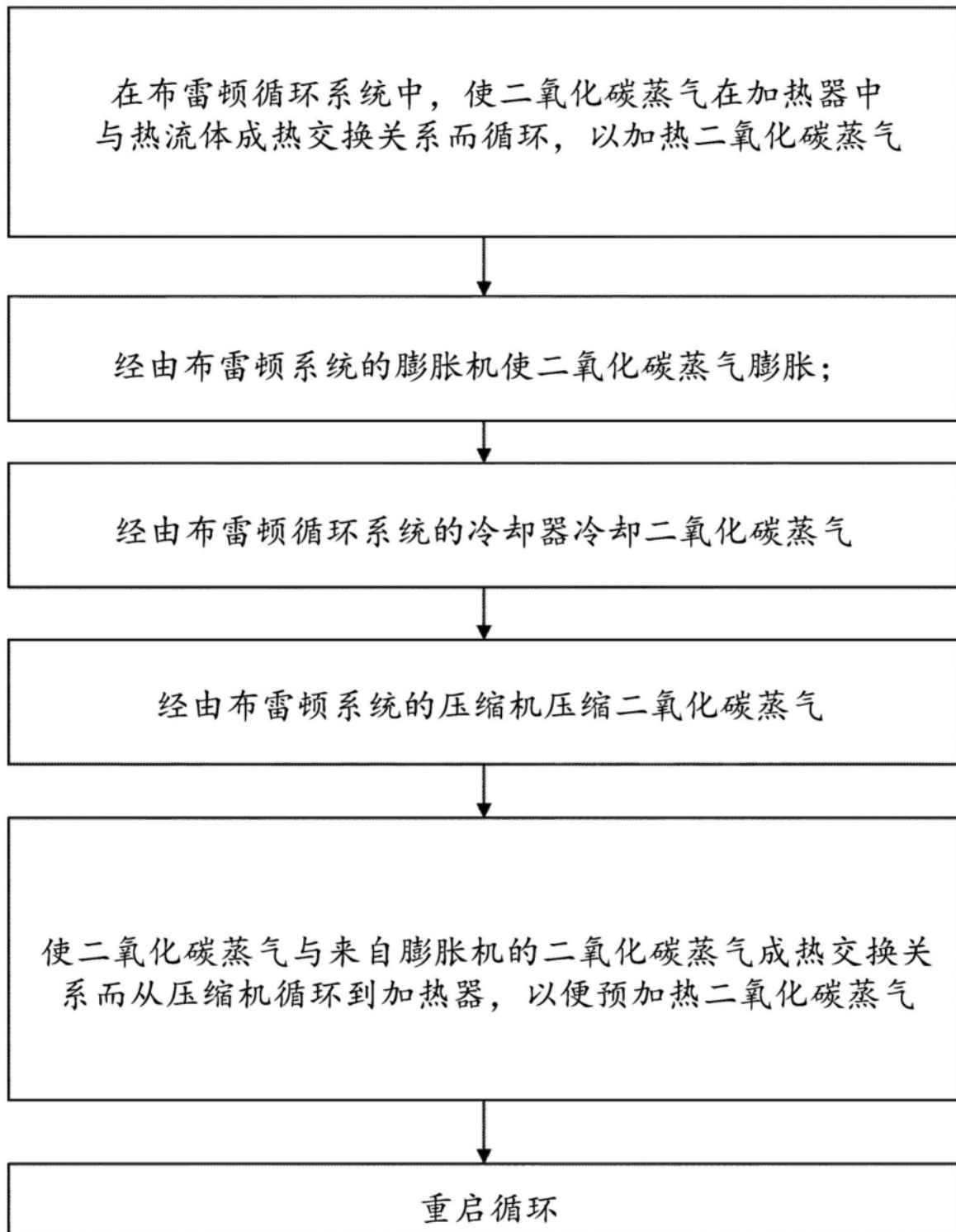


图9

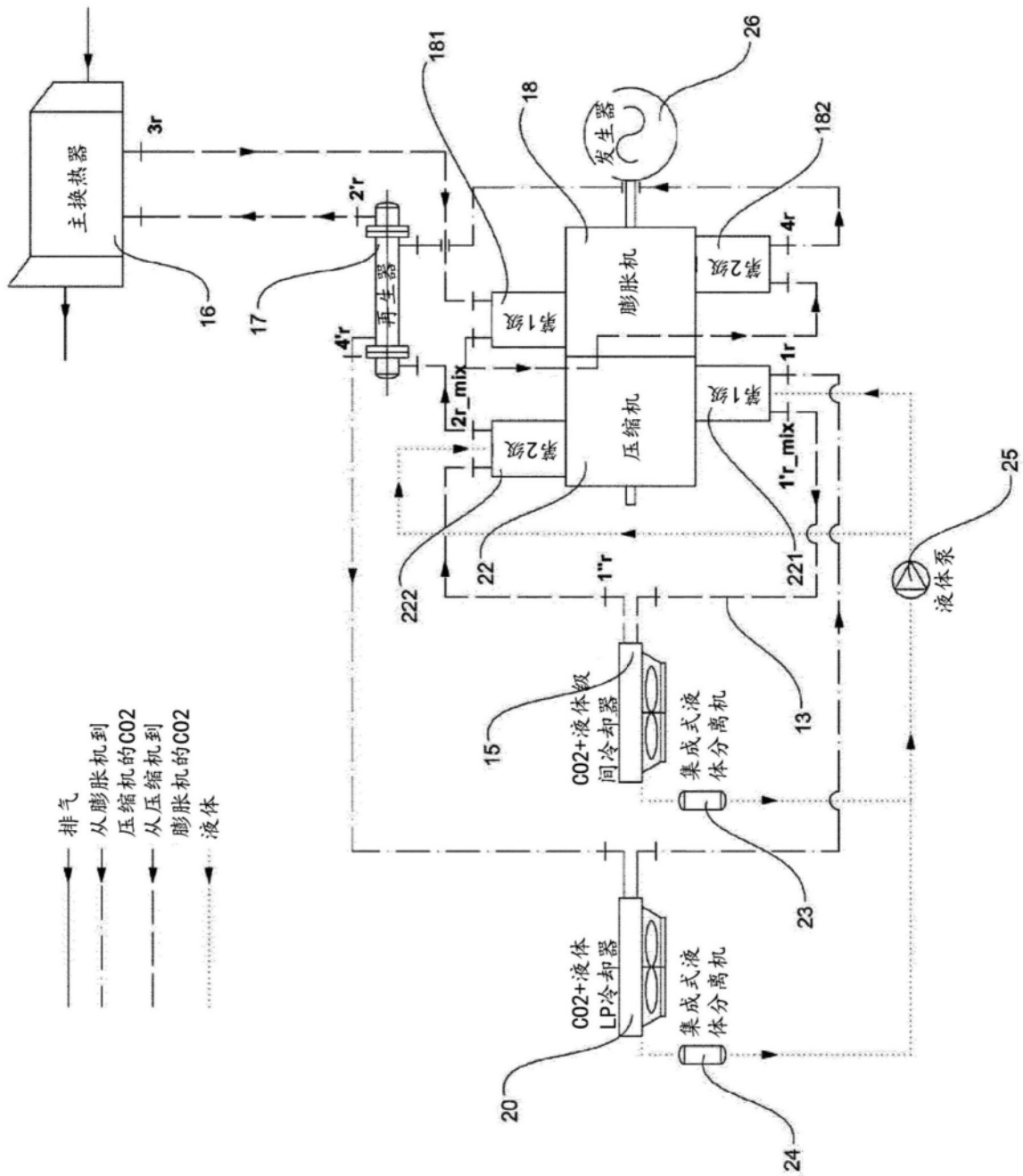


图10