



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109944649 B

(45)授权公告日 2020.05.22

(21)申请号 201910164417.4

审查员 胡杨

(22)申请日 2019.03.05

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109944649 A

(43)申请公布日 2019.06.28

(73)专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15
号

(72)发明人 潘利生 史维秀 李冰 魏小林

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51)Int.Cl.

F01K 7/32(2006.01)

F01K 25/10(2006.01)

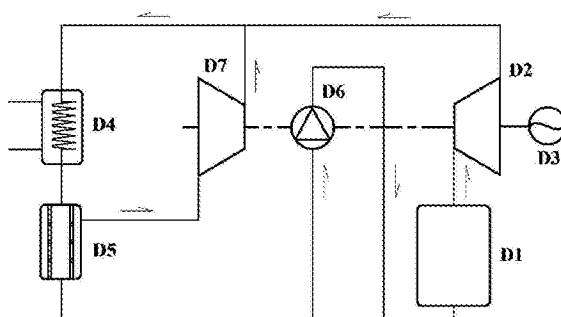
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种自深度冷却动力循环方法及系统

(57)摘要

本发明实施例公开了一种自深度冷却动力循环方法，工质泵用于对液态工质进行增压，工质泵的出口与加热器的进口通过管道连接，加热器的出口连接膨胀部件的进口，膨胀部件的出口与冷却器的进口通过管道连接，冷却器的出口与喷流装置的主流入口连接，喷流装置的主流出口与工质泵的入口连接，喷流装置的气态出口与增压部件的进口相连，增压部件的出口与冷却器的进口相连。本发明通过采用可以实现自降温的喷流装置，能够将超临界CO₂布雷顿循环系统冷却器出口的近临界状态工质进一步降温达到液态，从而实现液态压缩，避免了近临界压缩产生的液击现象和功耗较大的缺点，降低了增压部件的研发难度，提高了其工作的稳定性和可靠性，发展了CO₂动力循环技术。



1. 一种自深度冷却动力循环方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤100、将液态的循环工质经过工质泵增压后进入加热器吸收热量,得到高温高压循环工质;

步骤200、高温高压循环工质进入膨胀部件中膨胀做功并对外输出轴功,形成低压高温循环工质;

步骤300、低压高温循环工质与来自增压部件的工质混合后进入冷却器,然后被冷却介质冷却得到近临界状态的低温低压循环工质;

步骤400、低温低压循环工质进入喷流装置通过喷射汽化实现自降温,并得到气态工质和低温液态工质;

步骤500、气态工质由增压部件增压后与膨胀部件出来的高温低压工质混合,完成整个循环过程。

2. 根据权利要求1所述的一种自深度冷却动力循环方法,其特征在于,所述增压部件具体为压缩机或引射器,当所述增压部件为引射器时,气态工质直接进入引射器的低压气入口,从所述膨胀部件出来的循环工质进入引射器高压气入口,经过上述引射器引射后的混合气体再进入冷却器。

3. 根据权利要求1所述的一种自深度冷却动力循环方法,其特征在于,还包括一回热器,步骤100中液态的循环工质经过工质泵增压后的低温高压循环工质进入回热器高压侧并被从膨胀部件做功后的低压高温循环工质加热后再进入加热器;同时做功后的低压高温循环工质被工质泵增压后的低温高压循环工质进行冷却。

4. 根据权利要求3所述的一种自深度冷却动力循环方法,其特征在于,步骤500中的气态工质由增压部件增压,并与回热器低压侧出来的循环工质混合再次进入冷却器,完成整个循环过程。

5. 一种自深度冷却动力循环系统,其特征在于,包括加热器(D1)、膨胀部件(D2)、发电机(D3)、冷却器(D4)、喷流装置(D5)、工质泵(D6)、增压部件(D7);所述工质泵(D6)用于对液态工质进行增压,且所述工质泵(D6)的出口与所述加热器(D1)的进口通过管道连接,所述加热器(D1)的出口连接所述膨胀部件(D2)的进口,所述膨胀部件(D2)的出口与所述冷却器(D4)的进口通过管道连接,所述冷却器(D4)的出口与所述喷流装置(D5)的主流入口(1)连接,所述喷流装置(D5)的主流出口(5)与工质泵(D6)的入口连接,所述喷流装置(D5)的气态出口(6)与所述增压部件(D7)的进口相连;

所述喷流装置(D5)包括壳体(2),在所述壳体(2)的上、下端分别设置有主流入口(1)和主流出口(5),在所述壳体(2)的侧壁上设置有气态出口(6),在所述壳体(2)内部环向设置有喷流壁(3),且在所述喷流壁(3)上设置有若干用于在所述主流入口(1)和所述气态出口(6)之间压差作用下喷射主流工质的微孔(4)。

6. 根据权利要求5所述的一种自深度冷却动力循环系统,其特征在于,还包括回热器(D8),所述回热器(D8)的高压侧入口与工质泵(D6)的出口连接,所述回热器(D8)的高压侧出口与所述加热器(D1)的进口通过管道连接,所述膨胀部件(D2)的出口与所述回热器(D8)的低压侧入口相连,所述回热器(D8)的低压侧出口与所述冷却器(D4)的进口通过管道相连。

7. 根据权利要求6所述的一种自深度冷却动力循环系统,其特征在于,所述膨胀部件为

透平机或膨胀机。

8. 根据权利要求5所述的一种自深度冷却动力循环系统,其特征在于,所述气态出口(6)设置在所述壳体(2)侧壁的上端。

9. 根据权利要求5所述的一种自深度冷却动力循环系统,其特征在于,所述增压部件为压缩机或引射器,当所述增压部件为引射器时,所述喷流装置(D5)的气态出口(6)连接所述引射器的低压气入口,所述膨胀部件的出口连接所述引射器的高压气入口。

一种自深度冷却动力循环方法及系统

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及动力循环技术领域,具体涉及一种自深度冷却动力循环方法及系统。

背景技术

[0002] 动力循环是将热能转化为机械能的重要方法,大力提升循环热效率有利于提高能源综合利用效率,缓解能源短缺对社会发展造成的负面影响。水蒸气朗肯循环是应用最为广泛的动力循环,用于燃煤电站与核电站等,但水蒸气朗肯循环系统体积庞大,存在高温腐蚀现象,并且已遇到热效率瓶颈。

[0003] 与常规水蒸气朗肯循环相比,超临界CO₂布雷顿循环系统不仅可以达到更高的热效率,又具有结构紧凑、工质环保、工质热稳定性好等优点,已引起国内外科研机构及企业的广泛关注。

[0004] 申请号为201410494094.2的发明专利公开了一种利用太阳能的燃气-超临界二氧化碳联合动力发电系统,在利用燃气发电的同时,将太阳热能和压缩空气热能耦合进入了超临界CO₂布雷顿循环,提高了能源利用率。

[0005] 但超临界CO₂布雷顿循环中,工质增压过程发生在工质近临界状态。近临界区工质热物性的温度和压力敏感性极强,实际增压时,极易进入两相区,导致液击现象,对增压部件的安全运行和使用寿命造成极坏的影响。此外,超临界状态压缩耗功高于液态压缩。

发明内容

[0006] 为此,本发明实施例提供一种自深度冷却动力循环方法及系统,通过采用可以实现自降温的喷流装置,能够实现超临界CO₂布雷顿循环系统冷却器出口超临界工质主流流体自行降温至液态,从而可实现液态压缩,解决了近临界压缩产生的系列问题。

[0007] 为了实现上述目的,本发明的实施方式提供如下技术方案:

[0008] 根据本发明实施方式的第一个方面,提供了一种自深度冷却动力循环方法,其特征在于,包括如下步骤:

[0009] 步骤100、将液态的循环工质经过工质泵增压后进入加热器吸收热量,得到高温高压循环工质;

[0010] 步骤200、高温高压循环工质进入膨胀部件中膨胀做功并对外输出轴功,形成低压高温循环工质;

[0011] 步骤300、低压高温循环工质与来自膨胀部件的增压部件出口的工质混合后进入冷却器后被冷却介质冷却后得到近临界状态的低温低压循环工质;

[0012] 步骤400、低温低压循环工质进入喷流装置通过喷射汽化实现自降温,并得到气态工质和低温液态的循环工质;

[0013] 步骤500、气态工质由增压部件增压后与膨胀部件出来的高温低压工质混合,完成整个循环过程。

[0014] 进一步地，所述增压部件具体为压缩机或引射器，当所述增压部件为引射器时，气态工质直接进入引射器的低压气入口，从所述膨胀部件出来的循环工质进入引射器高压气入口，经过上述引射器引射后的混合气体再进入冷却器。

[0015] 进一步地，还包括一回热器，步骤100中液态的循环工质经过工质泵增压后的低温高压循环工质进入回热器高压侧并被从膨胀部件做功后的低压高温循环工质加热后再进入加热器；同时做功后的低压高温循环工质被工质泵增压后的低温高压循环工质进行冷却。

[0016] 进一步地，步骤500中的气态工质由增压部件增压，并与回热器低压侧出来的循环工质混合再次进入冷却器，完成整个循环过程。

[0017] 根据本发明实施方式的第二个方面，提供了一种自深度冷却动力循环系统，包括加热器、膨胀部件、发电机、冷却器、喷流装置、工质泵、增压部件；所述工质泵用于对液态工质进行增压，且所述工质泵的出口与所述加热器的进口通过管道连接，所述加热器的出口连接所述膨胀部件的进口，所述膨胀部件的出口与所述冷却器的进口通过管道连接，所述冷却器的出口与所述喷流装置的主流入口连接，所述喷流装置的主流出口与工质泵的入口连接，所述喷流装置的气态出口与所述增压部件的进口相连。

[0018] 进一步地，还包括回热器，所述回热器的高压侧入口与工质泵的出口连接，所述回热器的高压侧出口与所述加热器的进口通过管道连接，所述膨胀部件的出口与所述回热器的低压侧入口相连，所述回热器的低压侧出口与所述冷却器的进口通过管道相连。

[0019] 进一步地，所述膨胀部件为透平机或膨胀机。

[0020] 进一步地，所述喷流装置包括壳体，在所述壳体的上、下端分别设置有主流入口和主流出口，在所述壳体的侧壁上设置有气态出口，在所述壳体内部环向设置有喷流壁，且在所述喷流壁上设置有若干用于在所述主流入口和所述气态出口之间压差作用下喷射主流工质的微孔。

[0021] 进一步地，所述气态出口设置在所述壳体侧壁的上端。

[0022] 进一步地，所述增压部件为压缩机或引射器，当所述增压部件为引射器时，所述喷流装置的气态出口连接所述引射器的低压气入口，所述膨胀部件的出口连接所述引射器的高压气入口。

[0023] 本发明的实施方式具有如下优点：

[0024] 本发明采用简单的装置结构实现了液态工质降温，满足了实验研究或新循环系统研发中对低温制冷剂的需求，在常规制冷循环中采用该方法及装置，有助于减小蒸发器面积，降低机组体积和加工成本。

附图说明

[0025] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案，下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地，下面描述中的附图仅仅是示例性的，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0026] 本说明书所绘示的结构、比例、大小等，均仅用以配合说明书所揭示的内容，以供熟悉此技术的人士了解与阅读，并非用以限定本发明可实施的限定条件，故不具技术上的

实质意义,任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整,在不影响本发明所能产生的功效及所能达成的目的下,均应仍落在本发明所揭示的技术内容得能涵盖的范围内。

- [0027] 图1为本发明实施方式不带回热器的循环方法及系统流程图;
- [0028] 图2为本发明实施方式带回热器的循环方法及系统流程图;
- [0029] 图3为本发明实施方式不带回热器的循环状态变化图;
- [0030] 图4为本发明实施方式带回热器的循环状态变化图;
- [0031] 图5为本发明实施方式的喷流装置的结构示意图。
- [0032] 图中:
 - [0033] D1-加热器,D2-膨胀部件,D3-发电机,D4-冷却器,D5-喷流装置,D6-工质泵,D7-增压部件(压缩机),D8-回热器;
 - [0034] 1-主流入口;2-壳体;3-喷流壁;4-微孔;5-主流出口;6-气态出口。
 - [0035] P1-膨胀部件入口,P2a-膨胀部件出口,P2b-增压部件(压缩机)出口,P2-冷却器入口,P3-喷流装置入口;P3a,P3b,P3c为喷流壁上不同的三个微孔,P4-工质泵入口,P5-工质泵出口,P6-喷流装置气态出口,Pa-回热器低压侧出口,Pb-回热器高压侧出口。

具体实施方式

[0036] 以下由特定的具体实施例说明本发明的实施方式,熟悉此技术的人士可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点及功效,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0037] 如图1所示,本实施例提供了一种自深度冷却动力循环系统,该系统的具体构造和连接方式为:

[0038] 该系统主要包括加热器D1、膨胀部件D2、发电机D3、冷却器D4、喷流装置D5、工质泵D6、增压部件D7;其中增压部件D7可以是压缩机或引射器,下面以增压部件D7为压缩机为例,结合图1对其具体关系进行说明:

[0039] 工质泵D6用于对液态工质进行增压,且所述工质泵D6的出口与所述加热器D1的进口通过管道连接,所述加热器D1的出口连接所述膨胀部件D2的进口,所述膨胀部件D2的出口与所述冷却器D4的进口通过管道连接,所述冷却器D4的出口与所述喷流装置D5的主流入口1连接,所述喷流装置D5的主流出口5与工质泵D6的入口连接,所述喷流装置D5的气态出口6与所述增压部件D7的进口相连。

[0040] 当所述增压部件为引射器时,由于引射器具有一个低压气入口、一个高压气入口和一个出口,因此,采用引射器代替压缩机的时候,所述喷流装置D5的气态出口连接所述引射器的低压气入口,所述膨胀部件的出口连接所述引射器的高压气入口。

[0041] 同理,以增压部件D7为压缩机为例,该系统的循环过程如下:

[0042] 步骤100、将液态的循环工质经过工质泵增压后进入加热器吸收热量,得到高温高压循环工质;

[0043] 步骤200、高温高压循环工质进入膨胀部件中膨胀做功并对外输出轴功,再通过发电机向外界用户提供电能,形成低压高温循环工质;

[0044] 步骤300、低压高温循环工质与来自膨胀部件的增压部件出口的工质混合后进入

冷却器后被冷却介质冷却后得到近临界状态的低温低压循环工质；

[0045] 步骤400、低温低压循环工质进入喷流装置通过喷射汽化实现自降温，并得到气态工质和低温液态工质；

[0046] 步骤500、气态工质由增压部件增压后与膨胀部件出来的高温低压工质混合，完成整个循环过程。

[0047] 在本实施方式中，增压部件具体为压缩机或引射器，当所述增压部件为引射器时，气态工质直接进入引射器的低压气入口，从所述膨胀部件出来的循环工质进入引射器高压气入口，经过引射器引射后的混合气体再进入冷却器。

[0048] 在本实施方式中，如图5所示，步骤400中的喷流装置D5包括壳体2，在所述壳体2的上、下端分别设置有主流入口1和主流出口5，在所述壳体2的侧壁上设置有气态出口6，在所述壳体2内部环向设置有喷流壁3，且在所述喷流壁3上设置有若干用于在所述主流入口1和所述气态出口6之间压差作用下喷射主流工质的微孔4。

[0049] 喷流装置D5工作方式为：主流工质步骤400中的低温低压循环工质，在喷流装置中称为主流工质通过主流入口1进入壳体2内部的流道，在主流入口1和气态出口5压差的作用下，部分主流工质从喷流壁3上的微孔4喷射出来，喷射过程伴随着主流工质的剧烈汽化，并吸收主流工质及喷流壁4的热量，使得主流工质温度迅速降低，降温后的主流流体达到液态，也就是步骤400中低温液态的循环工质。

[0050] 由于主流工质在喷流壁4下游两侧压差相对较小，可能会导致喷流后主流工质汽化不完全，因此将气态出口6设置在壳体2侧壁的上部分，下游未汽化的液态主流工质向上游流动时可继续汽化吸热。

[0051] 本实施例的喷流装置可通过喷流自降温的方式降低主流液态工质温度，并同时将汽化的工质分离出来。

[0052] 在本实施方式中，由于从膨胀部件透平机或膨胀机出来的低压循环工质仍具有较高的温度，直接进入冷却器冷却将提升不可逆损失、甚至能量损失，不利于循环热效率的提升。为充分利用这部分热能，在循环系统上增加回热器回收这一部分热能用于加热从工质泵出来的低温工质，如图2所示。

[0053] 回热器D8的高压侧入口与工质泵D6的出口连接，所述回热器D8的高压侧出口与所述加热器D1的进口通过管道连接，所述膨胀部件D2的出口与所述回热器D8的低压侧入口相连，所述回热器D8的低压侧出口与所述冷却器D4的进口通过管道相连。

[0054] 增加回热器D8后的系统循环过程发生了改变，步骤100中液态的循环工质经过工质泵增压后的低温高压循环工质进入回热器高压侧并被从膨胀部件做功后的低压高温循环工质加热后再进入加热器；同时做功后的低压高温循环工质被工质泵增压后的低温高压循环工质进行冷却。步骤500中的气态工质由增压部件增压，并与回热器低压侧出来的循环工质混合再次进入冷却器，完成整个循环过程。

[0055] 图3和图4分别与图1和图2相对应，表示了增压部件D7采用压缩机时，无回热器和有回热器时工质沿整个循环的状态变化，图上所示状态点对应循环系统各部件进出口的温度值和熵值。

[0056] 本发明的循环方法及系统能够将超临界CO₂布雷顿循环系统冷却器出口的近临界状态工质进一步降温达到液态，从而实现液态压缩，避免了近临界压缩产生的液击现象和

功耗较大的缺点,有利于降低了设备的研发难度,提高增压部件的工作稳定性和可靠性,推动超临界CO₂布雷顿循环技术的实用化进程。

[0057] 虽然,上文中已经用一般性说明及具体实施例对本发明作了详尽的描述,但在本发明基础上,可以对之作一些修改或改进,这对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,在不偏离本发明精神的基础上所做的这些修改或改进,均属于本发明要求保护的范围。

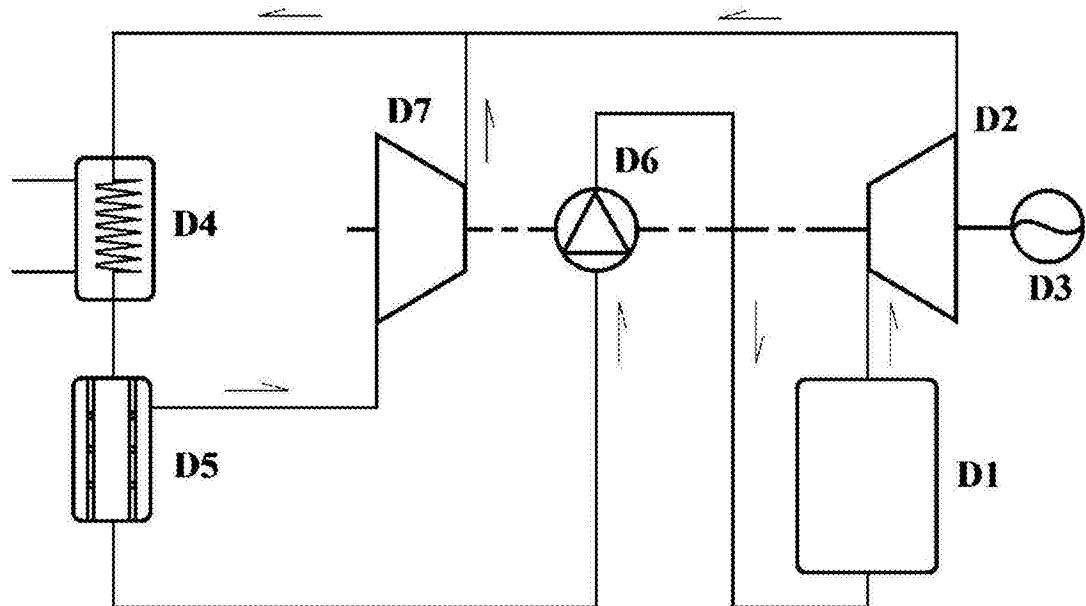


图1

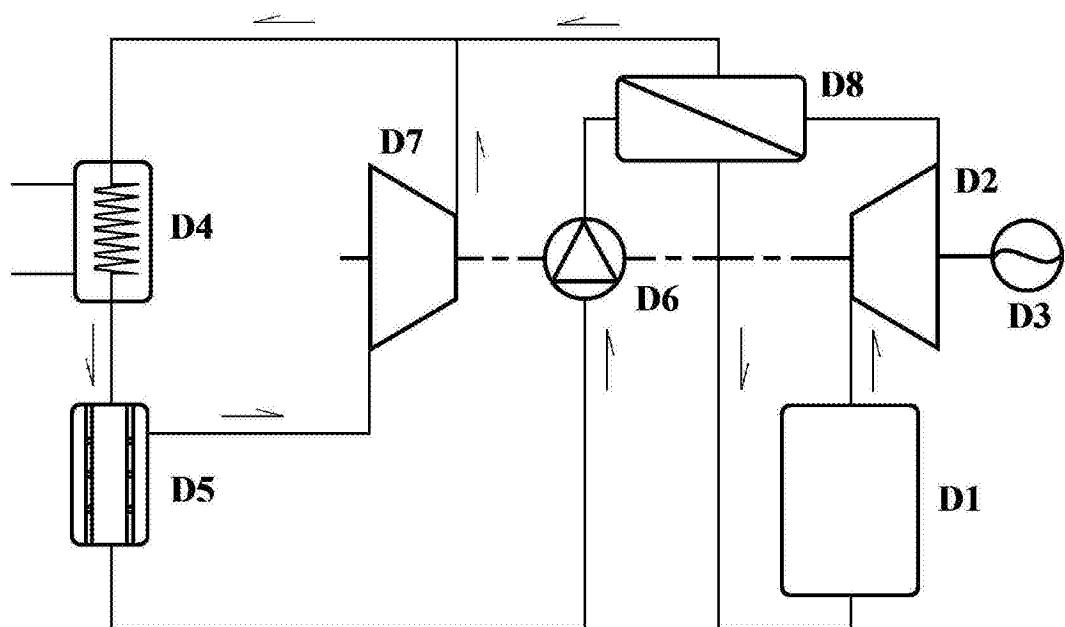


图2

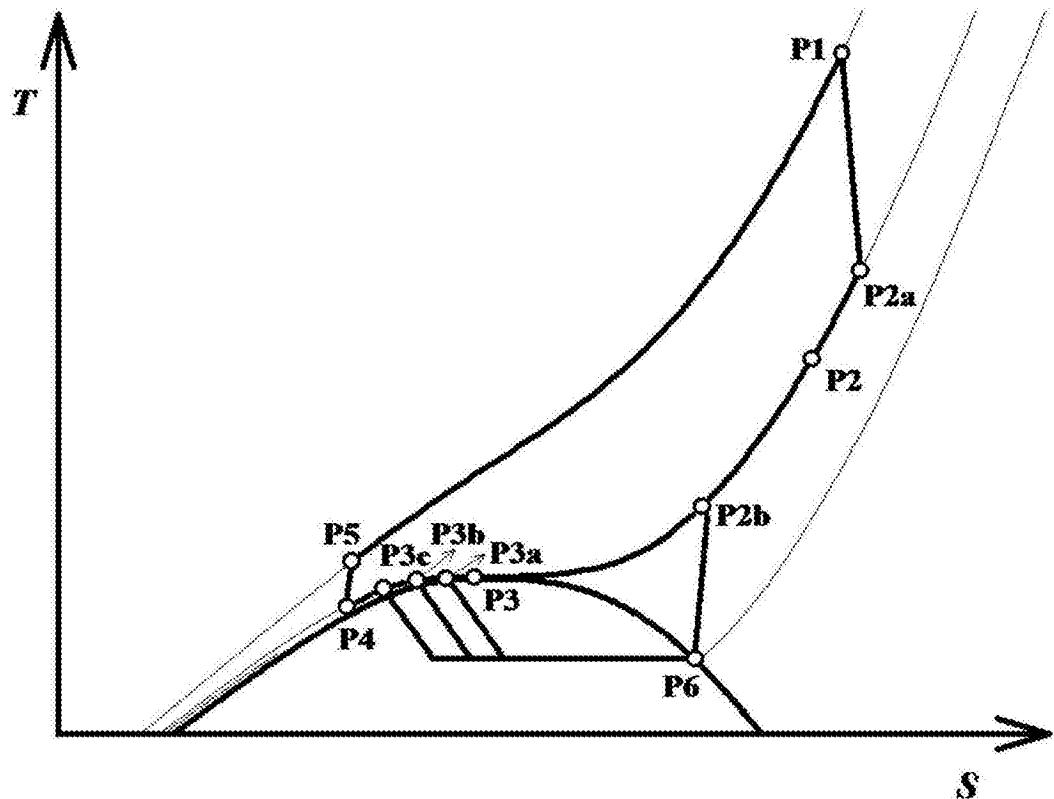


图3

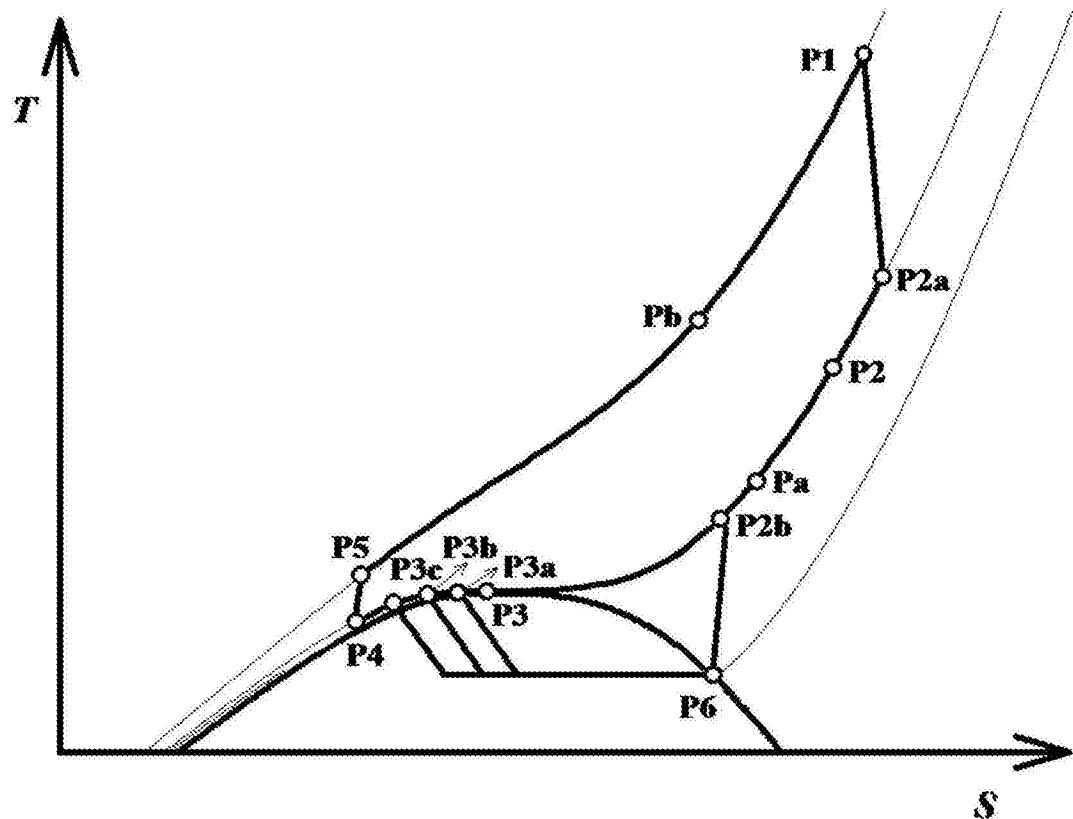


图4

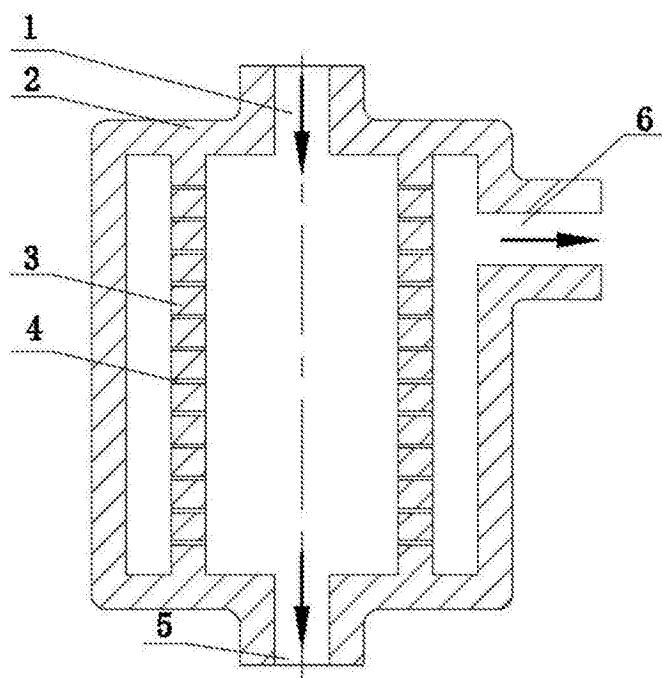


图5