



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104747316 A

(43) 申请公布日 2015.07.01

(21) 申请号 201510041920.2

(22) 申请日 2015.01.28

(71) 申请人 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 魏小林 李博 李腾

(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.

F02G 1/043(2006.01)

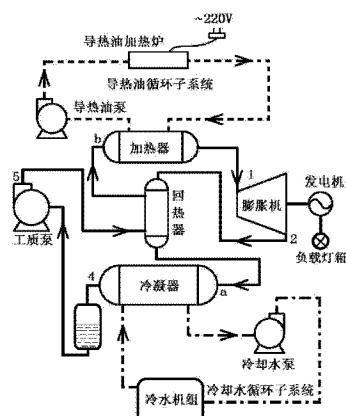
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54) 发明名称

一种低品位热能的循环发电实验平台

(57) 摘要

本发明公开了一种低品位热能的循环发电实验平台，其在实验室中实现了采用CO<sub>2</sub>为工质的跨临界动力循环发电，有助于推进CO<sub>2</sub>跨临界动力循环技术的进一步发展。其包括导热油循环子系统、CO<sub>2</sub>循环子系统、冷却水循环子系统、发电机、负载、数据采集及控制系统。CO<sub>2</sub>循环子系统包括CO<sub>2</sub>柱塞泵、超临界加热器、CO<sub>2</sub>膨胀机、冷凝器，导热油循环子系统与超临界加热器连接，冷却水循环子系统与冷凝器连接，CO<sub>2</sub>依次流经CO<sub>2</sub>柱塞泵、超临界加热器、CO<sub>2</sub>膨胀机、冷凝器，CO<sub>2</sub>膨胀机、发电机、负载依次连接。



1. 一种低品位热能的循环发电实验平台,其特征在于:其包括导热油循环子系统、CO<sub>2</sub>循环子系统、冷却水循环子系统、发电机、负载、数据采集及控制系统,CO<sub>2</sub>循环子系统包括CO<sub>2</sub>柱塞泵、超临界加热器、CO<sub>2</sub>膨胀机、冷凝器,导热油循环子系统与超临界加热器连接,冷却水循环子系统与冷凝器连接,CO<sub>2</sub>依次流经CO<sub>2</sub>柱塞泵、超临界加热器、CO<sub>2</sub>膨胀机、冷凝器,CO<sub>2</sub>膨胀机、发电机、负载依次连接。

2. 根据权利要求1所述的低品位热能的循环发电实验平台,其特征在于:所述CO<sub>2</sub>循环子系统还包括回热器,CO<sub>2</sub>依次流经CO<sub>2</sub>柱塞泵、回热器高压侧、超临界加热器、CO<sub>2</sub>膨胀机、回热器低压侧、冷凝器。

3. 根据权利要求2所述的低品位热能的循环发电实验平台,其特征在于:所述冷却水循环子系统包括冷水机组、冷却水泵。

4. 根据权利要求3所述的低品位热能的循环发电实验平台,其特征在于:所述导热油循环子系统包括导热油加热炉、导热油流量计、导热油泵。

5. 根据权利要求4所述的低品位热能的循环发电实验平台,其特征在于:所述导热油循环子系统还包括导热油膨胀罐。

6. 根据权利要求1所述的低品位热能的循环发电实验平台,其特征在于:所述CO<sub>2</sub>柱塞泵还连接变频器。

7. 根据权利要求1所述的低品位热能的循环发电实验平台,其特征在于:所述负载为灯箱。

8. 根据权利要求7所述的低品位热能的循环发电实验平台,其特征在于:所述灯箱为白炽灯灯箱。

9. 根据权利要求1所述的低品位热能的循环发电实验平台,其特征在于:所述CO<sub>2</sub>膨胀机为CO<sub>2</sub>滚动转子膨胀机;所述发电机为永磁发电机,其放在膨胀机壳体内。

10. 根据权利要求1所述的低品位热能的循环发电实验平台,其特征在于:所述CO<sub>2</sub>循环子系统还包括润滑油分离器,其在CO<sub>2</sub>膨胀机和冷凝器之间。

## 一种低品位热能的循环发电实验平台

### 技术领域

[0001] 本发明属于能源利用的技术领域，具体地涉及一种低品位热能的循环发电实验平台。

### 背景技术

[0002] 随着人类社会的不断发展和化石能源的不断减少，能源供给面临越来越严峻的问题。由于低品位热能分布广泛、储量巨大，越来越受到重视。低品位热能主要包括低温地热能、低温太阳热能和低温工业余热废热能。与高品位热能相比，低品位热能利用效率低下、技术复杂且仍不够成熟。采用非常规工质的动力循环具有高效利用低品位热能的潜力，被广泛关注的非常规工质包括  $\text{CO}_2$ 、 $\text{NH}_3$  及有机工质。

[0003]  $\text{CO}_2$  相比其他非常规工质具有众多优点，如零 ODP 值、低 GWP 值、无毒、不可燃。处于超临界状态的  $\text{CO}_2$ ，其物性介于液体与气体之间。其密度比一般气体要大两个数量级，与液体相近。其粘度比液体小，但扩散速度比液体快（约两个数量级），所以有较好的流动性和传递性能。它的介电常数随压力而急剧变化（如介电常数增大有利于溶解一些极性大的物质）。 $\text{CO}_2$  跨临界动力循环中，超临界工质换热过程不存在定温吸热过程，工质温度变化与热源温度变化具有良好的匹配性。

[0004] 因此， $\text{CO}_2$  跨临界动力循环是一种具有发展潜力的动力循环，具有高效利用热能的优点。但是，目前还没有采用超临界状态的  $\text{CO}_2$  进行循环发电的报道。

### 发明内容

[0005] 本发明的技术解决问题是：克服现有技术的不足，提供一种低品位热能的循环发电实验平台，其在实验室中实现了采用  $\text{CO}_2$  为工质的跨临界动力循环发电，有助于推进  $\text{CO}_2$  跨临界动力循环技术的进一步发展。

[0006] 本发明的技术解决方案是：这种低品位热能的循环发电实验平台，其包括导热油循环子系统、 $\text{CO}_2$  循环子系统、冷却水循环子系统、发电机、负载、数据采集及控制系统， $\text{CO}_2$  循环子系统包括  $\text{CO}_2$  柱塞泵、超临界加热器、 $\text{CO}_2$  膨胀机、冷凝器，导热油循环子系统与超临界加热器连接，冷却水循环子系统与冷凝器连接， $\text{CO}_2$  依次流经  $\text{CO}_2$  柱塞泵、超临界加热器、 $\text{CO}_2$  膨胀机、冷凝器， $\text{CO}_2$  膨胀机、发电机、负载依次连接。

[0007] 本发明通过导热油循环子系统加热  $\text{CO}_2$  循环子系统中的  $\text{CO}_2$ ，通过冷却水循环子系统冷却  $\text{CO}_2$  循环子系统中的  $\text{CO}_2$ ，从而实现  $\text{CO}_2$  膨胀机膨胀做功，推动发电机发电，并由负载消耗电能，因此在实验室中实现了采用  $\text{CO}_2$  为工质的跨临界动力循环发电，有助于推进  $\text{CO}_2$  跨临界动力循环技术的进一步发展。

### 附图说明

[0008] 图 1 是根据本发明的  $\text{CO}_2$  跨临界动力循环状态示意图；

[0009] 图 2 是根据本发明的低品位热能的循环发电实验平台的结构示意图。

## 具体实施方式

[0010] 如图 2 所示,这种低品位热能的循环发电实验平台,其包括导热油循环子系统、CO<sub>2</sub>循环子系统、冷却水循环子系统、发电机、负载、数据采集及控制系统, CO<sub>2</sub>循环子系统包括 CO<sub>2</sub>柱塞泵、超临界加热器、CO<sub>2</sub>膨胀机、冷凝器, 导热油循环子系统与超临界加热器连接, 冷却水循环子系统与冷凝器连接, CO<sub>2</sub>依次流经 CO<sub>2</sub>柱塞泵、超临界加热器、CO<sub>2</sub>膨胀机、冷凝器, CO<sub>2</sub>膨胀机、发电机、负载依次连接。

[0011] 本发明通过导热油循环子系统加热 CO<sub>2</sub>循环子系统中的 CO<sub>2</sub>, 通过冷却水循环子系统冷却 CO<sub>2</sub>循环子系统中的 CO<sub>2</sub>, 从而实现 CO<sub>2</sub>膨胀机膨胀做功, 推动发电机发电, 并由负载消耗电能, 因此在实验室中实现了采用 CO<sub>2</sub>为工质的跨临界动力循环发电, 有助于推进 CO<sub>2</sub>跨临界动力循环技术的进一步发展。

[0012] 另外, 所述 CO<sub>2</sub>循环子系统还包括回热器, CO<sub>2</sub>依次流经 CO<sub>2</sub>柱塞泵、回热器高压侧、超临界加热器、CO<sub>2</sub>膨胀机、回热器低压侧、冷凝器。

[0013] 另外, 所述冷却水循环子系统包括冷水机组、冷却水泵。由于 CO<sub>2</sub>临界温度较低, 为 31℃, 因此 CO<sub>2</sub>跨临界动力循环系统必须采用低温冷却水才能将亚临界 CO<sub>2</sub>冷却冷凝, 采用冷却塔产生的冷却水并不能满足要求, 本发明公开的 CO<sub>2</sub>跨临界动力循环发电实验平台采用冷水机组产生冷却水, 冷却水温度可以在 0℃和室温间进行调节。

[0014] 另外, 所述导热油循环子系统包括导热油加热炉、导热油流量计、导热油泵。导热油依次流经导热油泵、导热油加热炉、超临界加热器导热油侧、导热油流量计及相应导热油管路和阀门。

[0015] 另外, 所述导热油循环子系统还包括导热油膨胀罐。导热油升温过程中比容增大, 导热油膨胀罐能够起到缓冲作用, 防止导热油溢出系统或系统压力上升。

[0016] 另外, 所述 CO<sub>2</sub>柱塞泵还连接变频器。通过调节变频器来调节 CO<sub>2</sub>柱塞泵的压力。

[0017] 另外, 所述负载为灯箱。更进一步地, 所述灯箱为白炽灯灯箱。

[0018] 另外, 所述 CO<sub>2</sub>循环子系统还包括润滑油分离器, 其在 CO<sub>2</sub>膨胀机和冷凝器之间。这样能使润滑油从 CO<sub>2</sub>中分离出来而保证纯度。

[0019] 实验时的工况调节手段包括以下几种: 通过调节负载灯箱白炽灯数目调节灯箱负载, 进而调节膨胀机转速和 CO<sub>2</sub>循环流量; 通过调节 CO<sub>2</sub>柱塞泵频率调节 CO<sub>2</sub>柱塞泵运行频率, 进而调节 CO<sub>2</sub>循环流量; 通过调节导热油子系统的主管路阀门及旁通管路阀门调节系统导热油流量; 通过调节冷却水子系统的主管路阀门及旁通管路阀门调节系统冷却水流量; 通过调节冷水机组温度设置调节系统冷却水温度; 通过调节导热油加热炉温度设置调节系统导热油温度。

[0020] 图 1 为 CO<sub>2</sub>跨临界动力循环状态示意图, 图 2 为根据本发明的低品位热能的循环发电实验平台的结构示意图。通过阀门调节, 可以对采用回热器的平台进行实验研究, 也可以对不采用回热器的平台进行实验研究。

[0021] 当采用回热器时, 高温高压的超临界状态 CO<sub>2</sub>进入膨胀机膨胀做功(图 1、2 中 1~2), 推动发电机发电, 并由负载灯箱消耗, 膨胀后的低温低压亚临界状态的气态 CO<sub>2</sub>进入回热器低压侧与高压侧低温状态的 CO<sub>2</sub>进行换热(图 1、2 中 2~a), 进一步被冷却的 CO<sub>2</sub>进入冷凝器, 被低温冷却水冷却冷凝为液态 CO<sub>2</sub>(图 1、2 中 a~4), 液态 CO<sub>2</sub>在 CO<sub>2</sub>柱塞泵中压

力升高（图 1、2 中 4 ~ 5），达到超临界压力状态的低温 CO<sub>2</sub>进入回热器高压侧与低压侧 CO<sub>2</sub>换热（图 1、2 中 5 ~ b），预热后的 CO<sub>2</sub>在超临界加热器中被导热油进一步加热达到高温高压的超临界状态的 CO<sub>2</sub>（图 1、2 中 b ~ 1），从而完成一个循环。

[0022] 当不采用回热器时，高温高压的超临界状态 CO<sub>2</sub>进入膨胀机膨胀做功（图 1、2 中 1 ~ 2），推动发电机发电，并由负载灯箱消耗，膨胀后的低温低压亚临界状态的气态 CO<sub>2</sub>进入冷凝器，被低温冷却水冷却冷凝为液态 CO<sub>2</sub>（图 1、2 中 2 ~ 4），液态 CO<sub>2</sub>在 CO<sub>2</sub>柱塞泵中压力升高（图 1、2 中 4 ~ 5），达到超临界压力状态的低温 CO<sub>2</sub>进入超临界加热器中被导热油加热达到高温高压的超临界状态的 CO<sub>2</sub>（图 1、2 中 5 ~ 1），从而完成一个循环。

[0023] 本发明公开的低品位热能的循环发电实验平台，在实验室中实现了 CO<sub>2</sub>跨临界动力循环发电，平台发电功率可达 1.6kW，该平台有助于对 CO<sub>2</sub>跨临界动力循环开展实验研究，有助于推进 CO<sub>2</sub>跨临界动力循环技术研究进展，为该技术工程应用提供参考。

[0024] 以上所述，仅是本发明的较佳实施例，并非对本发明作任何形式上的限制，凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰，均仍属本发明技术方案的保护范围。

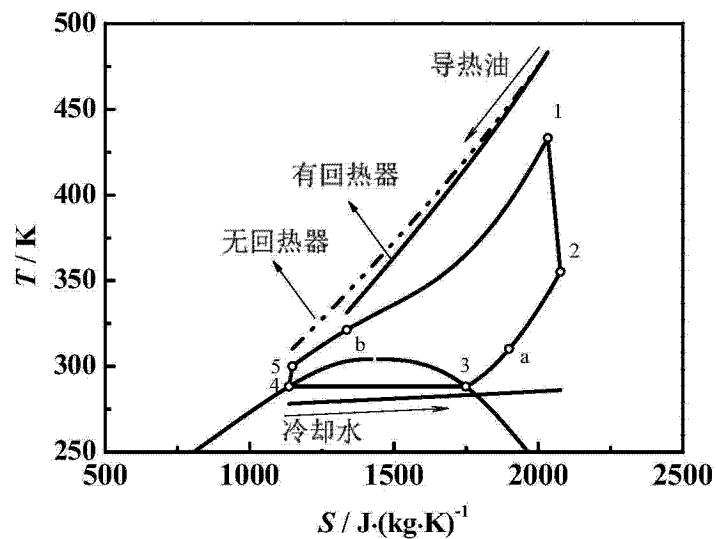


图 1

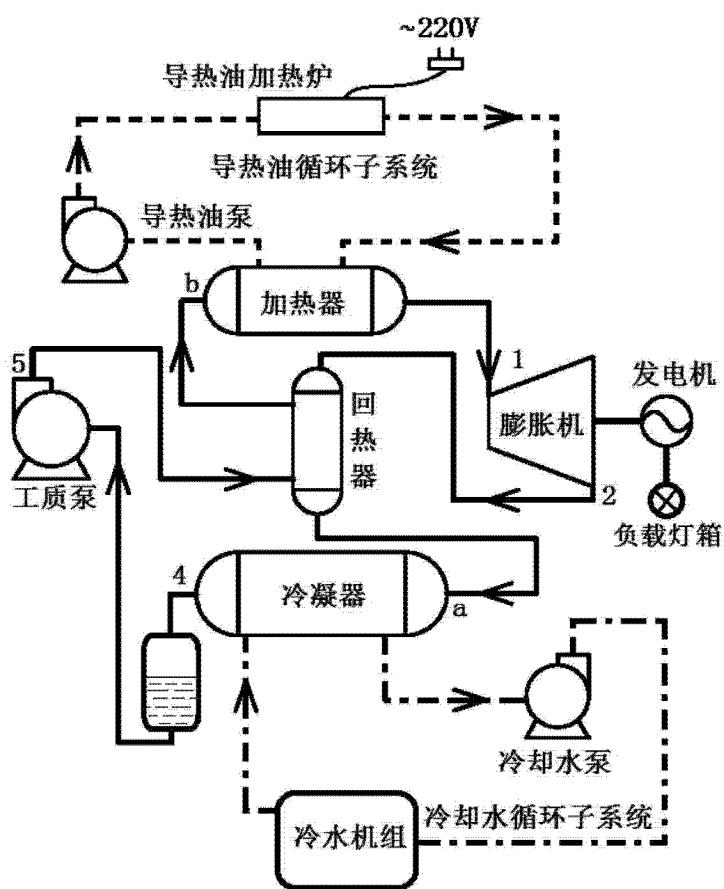


图 2