



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107429577 A

(43)申请公布日 2017. 12. 01

(21)申请号 201680017942.8

(22)申请日 2016.02.24

(30)优先权数据

62/137,848 2015.03.25 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.09.25

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2016/019275 2016.02.24

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/153692 EN 2016.09.29

(71)申请人 西屋电气有限责任公司

地址 美国宾夕法尼亚州

(72)发明人 L·J·彼得罗斯基

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038

代理人 姜雪梅

(51)Int.Cl.

F01K 3/12(2006.01)

F01K 3/18(2006.01)

F01K 7/16(2006.01)

F01K 25/10(2006.01)

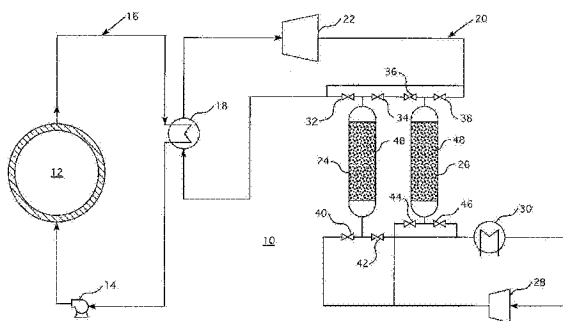
权利要求书2页 说明书3页 附图1页

(54)发明名称

用于超临界二氧化碳发电系统的避免易变夹点的同流换热器

(57)摘要

本发明公开了一种超临界二氧化碳发电布雷顿循环系统和方法,所述方法采用了交替热回收方法和设备,所述设备利用填充有珠状体的罐的切换罐组,聚集和回收工作流体的两股流的热能,使得能够在不会发生显著热效率损耗的条件下适应超临界二氧化碳的可变热性能。



1. 一种超临界二氧化碳发电布雷顿循环系统(10),包括:

热源(18),所述热源用于加热工作流体;

涡轮机(22),所述涡轮机与离开所述热源(18)的所述工作流体流体连通并且具有用于离开所述热源的工作流体的涡轮机入口和用于离开所述涡轮机的工作流体的涡轮机出口;

压缩机(28),所述压缩机与所述涡轮机(22)出口流体连通,所述压缩机具有用于离开所述涡轮机的所述工作流体的压缩机入口和与所述热源(18)流体连通的压缩机出口,以使得所述工作流体循环返回到所述热源;和

避免易变夹点的同流换热器,所述避免易变夹点的同流换热器包括多个罐(24,26),每个所述罐容纳固体填料材料(48,50)的珠状体,所述固体填料材料具有大表面面积,其中,所述珠状体由吸收、保持和传递热量的材料构成,其中,所述罐凭借阀门设备并联连接在所述压缩机(28)和所述涡轮机(22)之间,所述阀门设备将所述罐中的至少一些罐的罐入口连接到所述涡轮机出口并且将所述罐中的所述至少一些罐的罐出口连接到所述压缩机入口,而且将所述罐中的其它一些罐的罐出口连接到所述热源的入口并且将所述罐中的所述其它一些罐的罐入口连接到所述压缩机出口,使得利用阀门系统流动通过所述罐中的所述至少一些罐的流动与流经所述罐中的所述其它一些罐的流动成逆流关系,所述阀门系统能够操作以在保持所述罐中的所述至少一些罐和所述罐中的所述其它一些罐成逆流关系的同时交替地使得所述流动反向。

2. 根据权利要求1所述的超临界二氧化碳发电布雷顿循环系统(10),其中,所述固体填料材料包括沙(48)。

3. 根据权利要求1所述的超临界二氧化碳发电布雷顿循环系统(10),其中,所述固体填料材料包括陶瓷(50)。

4. 根据权利要求1所述的超临界二氧化碳发电布雷顿循环系统(10),其中,所述压缩机(28)将所述工作流体压缩成等于或大于72.9atm或者7.39MPa的压力。

5. 根据权利要求1所述的超临界二氧化碳发电布雷顿循环系统(10),其中,所述热源(18)将所述工作流体加热到等于或者大于304.25K的温度。

6. 根据权利要求1所述的超临界二氧化碳发电布雷顿循环系统(10),所述超临界二氧化碳发电布雷顿循环系统包括散热器(30),所述散热器与所述罐(24)中的所述至少一些罐或者所述罐(26)中的所述其它一些罐流体连通,从而使得所述工作流体离开所述罐抵达所述压缩机(28),其中,所述工作流体在进入所述压缩机之前流经所述散热器。

7. 根据权利要求6所述的超临界二氧化碳发电布雷顿循环系统(10),其中,所述散热器(30)将进入所述压缩机中的所述工作流体的温度降低100华氏度和140华氏度之间。

8. 一种采用超临界二氧化碳作为发电布雷顿循环系统(10)中的工作流体的方法,所述发电布雷顿循环系统包括:热源(18),所述热源用于加热工作流体;涡轮机(22),所述涡轮机与离开所述热源(18)的工作流体流体连通并且具有用于离开所述热源的工作流体的涡轮机入口和用于离开所述涡轮机的工作流体的涡轮机出口;压缩机(28),所述压缩机与所述涡轮机(22)出口流体连通,所述压缩机具有用于离开所述涡轮机的工作流体的压缩机入口和与所述热源(18)流体连通的压缩机出口,以使得所述工作流体循环返回到所述热源;和避免易变夹点的同流换热器,所述同流换热器包括多个罐(24,26),每个所述罐容纳固体填料材料(48,50)的珠状体,所述固体填料材料具有大表面面积,其中,所述珠状体由吸收、

保持和传递热量的材料构成,其中,所述罐凭借阀门设备并联连接在所述压缩机(28)和所述涡轮机(22)之间,所述阀门设备将所述罐中的至少一些罐的罐入口连接到所述涡轮机出口并且将所述罐中的所述至少一些罐的罐出口连接到所述压缩机入口,而且将所述罐中的其它一些罐的罐出口连接到所述热源的入口并且将所述罐中的所述其它一些罐的罐入口连接到所述压缩机出口,使得利用阀门系统流动通过所述罐中的所述至少一些罐的流动与流经所述罐中的所述其它一些罐的流动成逆流关系,所述阀门系统能够操作以在保持所述罐中的所述至少一些罐和所述罐中的所述其它一些罐成逆流关系的同时交替地使得所述流动反向,

所述方法包括:

利用所述热源(16)加热所述工作流体;

使得所述工作流体经过所述涡轮机(22)入口;

使得通过所述涡轮机(22)的工作流体膨胀;

将离开所述涡轮机(22)出口的工作流体运送到位于避免易变夹点的同流换热器的所述罐(24,26)中的所述至少一些罐的罐入口;

将离开所述避免易变夹点的同流换热器的所述罐(24,26)中的所述至少一些罐的罐出口的工作流体导引到所述压缩机(28)入口;

在所述压缩机(28)中压缩所述工作流体;

将离开所述压缩机(28)出口的工作流体引导到所述避免易变夹点的同流换热器的所述罐(24,26)中的所述其它一些罐的罐入口;

使得离开所述避免易变夹点的同流换热器的所述罐(24,26)中的所述其它一些罐的罐出口的工作流体返回到所述热源(16)。

9. 根据权利要求8所述的方法,所述方法包括将散热器与所述罐(2,26)中的所述至少一些罐或者所述罐(26,24)中的所述其它一些罐流体连通,所述方法还包括在所述工作流体进入所述压缩机(28)入口之前在所述散热器(30)中冷却所述工作流体。

10. 根据权利要求8所述的方法,所述方法包括下述步骤:在预选的时间段之后重新构造所述阀门设备(32,34,36,38,40,42,44,46),其中,在所述时间段之后使得流经所述罐(24,26)中的所述至少一些罐中的流动和流经所述罐(26,24)中的所述其它一些罐中的流动之间的逆流关系反向。

11. 根据权利要求10所述的方法,其中,预选的所述时间段在罐填料材料与通过所述罐填料材料的所述工作流体达到热平衡之前。

## 用于超临界二氧化碳发电系统的避免易变夹点的同流换热器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求在2015年3月25日提交的序列号为62/137,848的美国临时专利申请的优先权,所述美国临时专利申请的题目为用于超临界二氧化碳发电系统的避免易变夹点的同流换热器。

### 技术领域

[0003] 本发明整体涉及一种采用布雷顿循环的发电系统,并且更加特别地涉及使用超临界二氧化碳(sCO<sub>2</sub>)作为工作流体的发电系统。

### 背景技术

[0004] 目前正在开发利用以超临界二氧化碳作为工作流体的布雷顿循环发电。超临界二氧化碳是二氧化碳的流体状态,在所述流体状态中,二氧化碳保持处于或高于其临界温度和临界压力。二氧化碳通常在标准温度和压力下表现为空气中的气体或者在结冰时表现为称作干冰的固体。如果温度和压力皆从标准温度和压力升高至处于或高于二氧化碳的临界点,则可呈现介于气体和液体之间的属性。更加具体地,超临界二氧化碳在高于其临界温度(304.25K)和临界压力(72.9atm或7.39MPa)时表现为超临界流体,从而如气体一样膨胀以填充其容器,但是其密度如液体的密度。

[0005] 布雷顿循环是使用恒定压力、供热和排热的热动力循环。燃料和压缩机用于加热和增加气体(即,工作流体)的压力;气体膨胀并且使得涡轮机的叶片旋转,当涡轮机叶片连接到发电机时发电。使用超临界二氧化碳布雷顿循环系统的发电需要同流换热器,以将热量从低压流转移到高压流。通常,同流换热器是专用逆流能量回收换热器,所述专用逆流能量回收换热器定位在气体处理系统的供应气流或者排出气流中或者位于工业过程的排出气体中,以回收废热。呈逆流换热器形式的简单回收不能在使用临界二氧化碳的布雷顿循环应用中有效地实施其功能,原因在于两个流中(即,从涡轮机返回至压缩机的流和从压缩机返回到热源的热源流)的超临界二氧化碳的热性能可变。从两种流脱离的热容量随着温度变化,使得存在错配,在同流换热器中产生大温差。这导致热效率损耗。存在多种补救措施通过使用多个同流换热器和多个压缩机来将冷流流动分离开,但是这些同流换热器和压缩机都增加了系统复杂性并且经受一些热效率损耗。

### 附图说明

[0006] 当结合附图阅读时,能够从优选实施例的以下描述中获得对本发明的进一步理解,附图中:

[0007] 图1是采用了超临界二氧化碳作为工作流体的布雷顿发电循环的一个实施例和用于同流换热器的本发明的一个实施例的示意图。

### 具体实施方式

[0008] 本发明提供了一种交替的热回收方法和设备,所述交替的热回收方法和设备利用填充有珠状体的罐的切换罐组 (switched banks) 来聚集和回收工作流体中的两股流的热能量,使得能够在不显著损耗热效率的条件下适应超临界二氧化碳的可变热性能。在图1中示出了一个优选实施例,其示意性示出了采用超临界二氧化碳作为工作流体的布雷顿循环10。热源12 (诸如核反应堆) 加热传热流体 (诸如,液钠),由泵14将所述传热流体泵送通过闭合环路16,所述闭合环路延伸通过常规换热器18,所述常规换热器18与循环通过第二闭合环路20的工作流体 (即,超临界二氧化碳) 成换热关系。已加热的工作流体行进至涡轮机22并且使得涡轮机旋转以产生有用功。工作流体随后被从涡轮机22运送通过罐24、26中的一个罐或者另一个罐经由散热器30和压缩机28抵达闭合环路20的下部部分。散热器在工作流体进入到压缩机中之前降低了工作流体的温度。换热器30提供了排出到散热器 (例如,大气) 的闭合布雷顿循环下侧排热。工作流体离开压缩机28中并且被驱动通过罐24、26中的另一个罐而返回到换热器18,以完成环路。

[0009] 在图1中示出的示例性实施例中,离开传热环路16中的热源12的传热流体的温度为大约1036华氏度 (831°K) 并且压力为大约145psia (1MPa),而且所述传热流体被运送通过换热器18的一次侧。传热流体在大约932华氏度 (773°K) 和145psia (1MPa) 的压力下离开换热器18的一次侧,并且由循环泵14使其返回到热源12。工作流体在大约1022华氏度 (823°K) 以及大约2900psia (20MPa) 的压力下离开换热器18的二次侧并且进入到涡轮机22中,在所述涡轮机22中温度被降低至大约815华氏度 (708°K) 并且压力被降低至大约1115psia (8MPa)。在穿过罐24、26中的一个罐或者另一个罐到达散热器的入口之后,工作流体温度被进一步降低至大约212华氏度 (373°K) 并且压力保持处于1115psia (8MPa)。在穿过散热器30之后,温度被进一步降低至大约90华氏度 (305°K) 并且压力保持处于大约1115psia (8MPa)。在穿过压缩机28和罐24、26中的另一个罐之后,工作流体在大约750华氏度 (672°K) 和大约2900psia (20MPa) 的压力下返回到换热器18的二次侧。前述内容假定传热流体流动通过传热环路16的质量流为大约5000lb./s (2268Kg/s) 而在罐上游并且位于压缩机和换热器18之间的质量流为大约5290lb./s (2400Kg/s) 并且位于罐和压缩机入口之间的工作流的质量流为大约5290lb./s (2400Kg/s)。这些值仅仅为示例性的并且可以在不背离下文陈述的各权利要求要求的范围的情况下变化。

[0010] 优选实施例采用了多个并且优选细长的罐 (即,两个或者更多个罐),用蓄热介质48填充所述罐,所述蓄热介质48可以为沙、珠状体或者任何其它多孔介质的形式,所述任何其它多孔介质具有大表面面积和热容量,诸如为陶瓷材料。具有大表面面积的固体填料材料48将吸收热量、保持热量以及从工作流体传递热量和将热量传递到工作流体。优选地,每个罐使用相同的填料材料。罐被管连同阀32、34、36、38、40、42、44和46连接起来,使得每个罐能够各自连接到待加热的离开压缩机28的流或者待冷却的离开涡轮机的流。待冷却的流将被引导到罐24或26中的包含大部分冷填料材料的一个罐而同时待加热的流被引导到罐24、26中的包含大部分热材料中的另一个罐。流逐渐将热能传递到罐填料材料或者从罐填料材料传递热能。在罐填料材料达到热平衡之前并且恰好在罐的排放温度开始显著变化之前,切断原始流动流并且将相反的流沿着与先前流动通过该罐的方向相反的方向利用输入引导到该罐。对于另一个罐实施相同的操作。然后将由第一流存储的热能从填料材料转移到第二流中。

[0011] 周期性地,在每个罐中的内含物达到其热存储容量时,切换流动,从而为了实现最优性能根据需要在两种流动流之间交替。当然,可以采用多于两个的罐,其中,大约一半的罐在任何给定时刻连接到各流。可替代地,还可以采用奇数数量的罐,其中,流在各罐之间轮换。换热器30是散热器,用于在工作流体进入到压缩机28之前从工作流体提取热量。在使用非核热源的另一个实施例中,可以完全消除传热流体环路16,并且热源(例如,天然气火焰)能够直接行进通过换热器18,以便向二氧化碳布雷顿循环提供热能。

[0012] 因此,本发明使用中间蓄热介质,以缓解与换热器夹点(即,温差最小的点)有关的问题。本发明使用交替流流动方向,以便保持蓄热介质中的陡峭的热梯度而且使用切换的罐组以提供伪连续(pseudo-continuous)运转。所采用的换热器构造较之传统解决方案非常便宜、紧凑并且抗堵塞。超临界二氧化碳是非常有前途的动力循环,但是布雷顿循环的低温侧中的工作流体的热性能(即,热容量和传热)阻碍了采用本设计。本发明提供了针对这些问题的简单且便宜的解决方案。

[0013] 尽管已经详细描述了本发明的具体实施例,但是本领域技术人员应当意识到的是能够根据本公开的总体教导研发出针对这些细节的各种修改方案和替代方案。因此,所公开的特定实施例仅仅为了进行说明而不限制本发明的范围,本发明的范围由所附的权利要求和其任何以及全部等效物赋予。

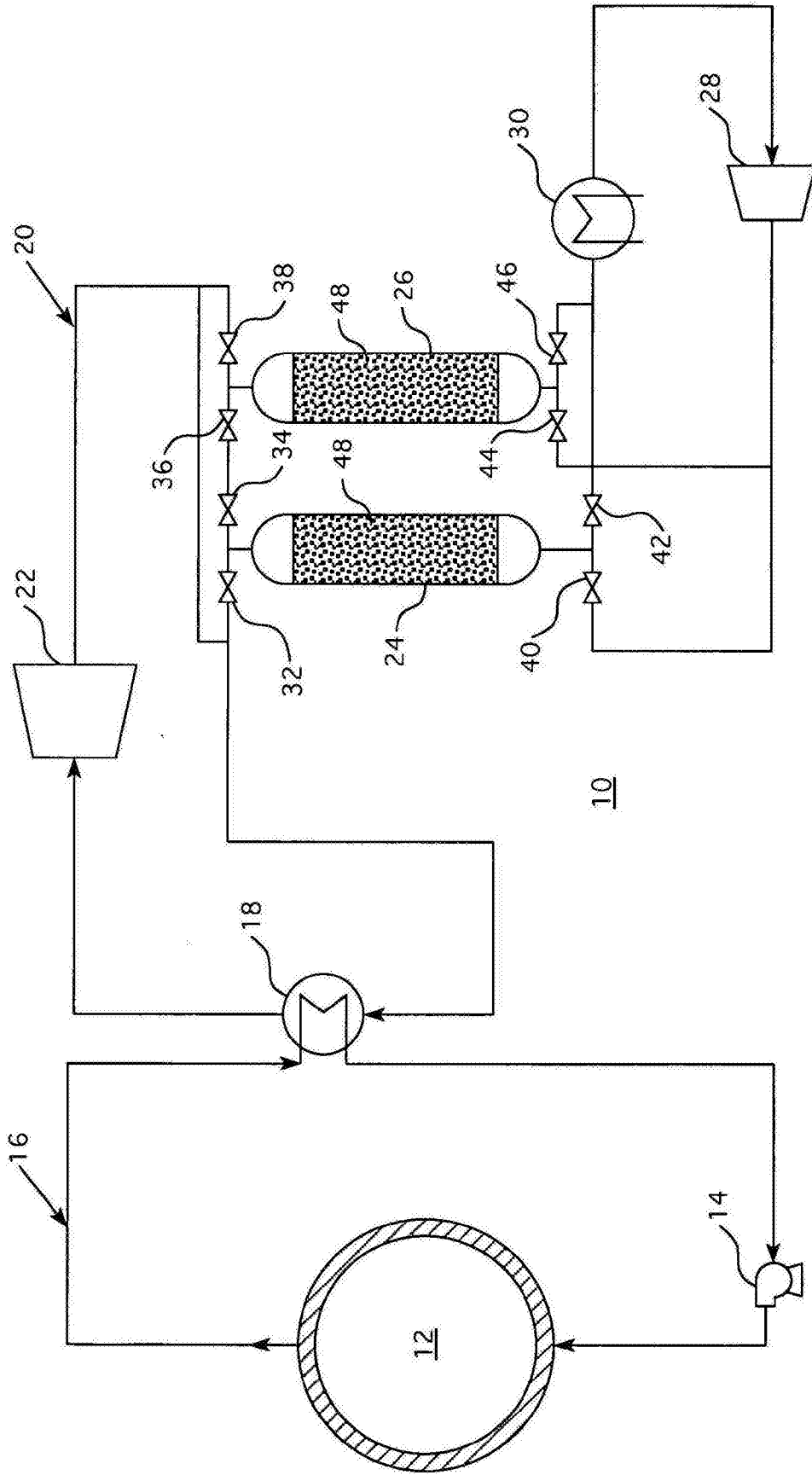


图1