



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110242362 B

(45) 授权公告日 2023. 12. 01

(21) 申请号 201910581551.4

(22) 申请日 2019.06.29

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110242362 A

(43) 申请公布日 2019.09.17

(73) 专利权人 东莞理工学院
地址 523000 广东省东莞市松山湖大学路1号东莞理工学院

(72) 发明人 杨小平 蔡卓弟 林荣 彭可文 何清

(74) 专利代理机构 东莞科强知识产权代理事务所(普通合伙) 44450
专利代理师 肖冬

(51) Int. Cl.
F01D 15/10 (2006.01)
F01K 7/32 (2006.01)
F24S 60/30 (2018.01)

(56) 对比文件
CN 210217844 U, 2020.03.31
CN 101749207 A, 2010.06.23
CN 103791746 A, 2014.05.14
CN 105201579 A, 2015.12.30

CN 105840258 A, 2016.08.10
CN 107100807 A, 2017.08.29
CN 108533476 A, 2018.09.14
CN 208106509 U, 2018.11.16
DE 102016014821 A1, 2018.06.14
EP 1930587 A2, 2008.06.11
KR 101984122 B1, 2019.05.30
KR 20160037570 A, 2016.04.06
KR 20170034719 A, 2017.03.29
WO 2016153692 A1, 2016.09.29
WO 2017122948 A1, 2017.07.20

杨小平;秦贯丰;杨晓西;左远志;徐勇军;蒋润花.熔盐单罐蓄热系统中斜温层黏性指进的稳定性分析.工程热物理学报.2017,(第01期),全文.

张一帆;王生鹏;刘文娟;陈渝楠;王月明;李红智.超临界二氧化碳再压缩再热火力发电系统关键参数的研究.动力工程学报.2016,(第10期),全文.

刘刚;付强;朱荣生;王秀礼;张本营;李梦圆.超临界锅炉给水泵级间密封间隙流动特性.排灌机械工程学报.2018,(第05期),全文.

审查员 胡琰琰

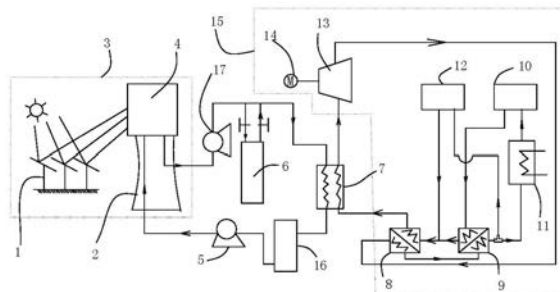
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称
超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统

(57) 摘要

本发明涉及热能利用技术领域,尤其涉及一种超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统。其包括:吸热系统,热循环做功系统,其包括高温泵、低温泵、管道、换热器以及做功系统;换热器为印刷电路板换热器,其包括多个换热板,换热板包括熔盐换热板和超临界二氧化碳换热板;熔盐换热板设有熔盐流道,超临界二氧化碳换热板设有超临界二氧化碳流道;熔盐流道、超临界二氧化碳流道均呈正弦波形分布;熔盐流道与超临界二氧化碳流道对应的每段单元的波长相等。通过合理的设计超临界二氧化碳流道和熔盐流道,使得

换热效率达到最佳,且换热器结构冗余少,降低成本。



CN 110242362 B

1. 超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统,其特征在於:其包括:

吸热系统,包括用于吸收外界热能的且装设有热媒介质的吸热部;

热循环做功系统,其包括高温泵、低温泵、管道、换热器以及做功系统;吸热部的出口通过管道经高温泵与换热器的降温通道入口连接,换热器的降温通道出口通过管道经低温泵与吸热部的入口连接;做功系统设有气流入口和气流出口,气流入口与换热器的升温通道出口连接,气流出口与换热器的升温通道入口连接;

所述换热器为印刷电路板换热器,其包括位于中部的多个堆叠设置的换热板,换热板包括呈间隔设置的熔盐换热板和超临界二氧化碳换热板;熔盐换热板设有多个平行设置的且用于熔盐从左至右流动的熔盐流道,超临界二氧化碳换热板设有多个平行设置的且用于超临界二氧化碳从右至左流动的超临界二氧化碳流道;

熔盐流道、超临界二氧化碳流道均呈正弦波形分布;

熔盐流道的波峰、波谷总数为 m 个, m 为自然数;熔盐流道被划分为 m 段;

超临界二氧化碳流道的波峰、波谷总数也为 m 个,超临界二氧化碳流道也被划分为 m 段,且从左至右熔盐流道的第 i 段与超临界二氧化碳流道的第 i 段的波长相等; $1 \leq i \leq m$;

预定熔盐流道每段的温度差为 $\Delta T_i = (T_i - T_{(i+1)})$; T_i 表示每段熔盐流道的起始温度;超临界二氧化碳流道每段的温度差为 $\Delta T_{1i} = T_{1(i+1)} - T_{1(i)}$; T_{1i} 表示第 i 段超临界二氧化碳流道的起始温度;建立方程式:

$$C_1 \times \Delta T_{1i} = P_1(w_i) / \rho_{(\text{超临界二氧化碳})} + (P(w_i) / \rho_{\text{熔盐}} + C \Delta T_i) \times \rho_{\text{熔盐}} \times V_{\text{熔盐}} \times S / (\rho_{\text{超临界二氧化碳}} \times V_{\text{超临界二氧化碳}} \times S_1);$$

调整超临界二氧化碳流道、熔盐流道每段的角频率参数,使得超临界二氧化碳流道、熔盐流道的静压强满足上述公式;

换热器与高温泵之间设有前加压装置;

低温泵与换热器之间设有后加压装置;

$\Delta T_i = k_1 \times \pi / w_i$; $\Delta T_{1i} = 0.5 \sim 0.8 \Delta T_i$; k_1 为调节系数。

2. 根据权利要求1所述的超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统,其特征在於:所述做功系统包括汽轮机和发电机,汽轮机的输出轴与发电机的输入轴连接。

3. 根据权利要求2所述的超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统,其特征在於:所述做功系统还包括高温回热器、低温回热器、一级压缩机以及预冷器;汽轮机的气流出口通过管道与高温回热器的高温入口连接,高温回热器的高温出口通过管道与低温回热器的高温入口连接,低温回热器的高温出口通过管道依次与预冷器、一级压缩机的入口连接,一级压缩机的出口通过管道与低温回热器的低温入口连接,低温回热器的低温出口与高温回热器的低温入口连接,高温回热器的低温出口与换热器的升温通道入口连接。

4. 根据权利要求3所述的超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统,其特征在於:做功系统还包括二级压缩机;低温回热器的高温出口连接有三通阀,三通阀设有一个入口和两个出口,入口与低温回热器的高温出口通过管道连接,三通阀的两个出口分别与二级压缩机、预冷器连接;二级压缩机通过管道与高温回热器的低温入口连接。

5. 根据权利要求4所述的超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统,其特征在於:三通阀的两个出口之间设有切换开关,当低温低压超临界二氧化碳的温度低于预定值时,低温低压超临界二氧化碳直接流向二级压缩机;否则,低温低压超临界二氧化碳直接流向预冷器。

6. 根据权利要求5所述的超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统,其特征在于:所述吸热系统还包括用于存储高温熔盐的储热容器和用于存储低温熔盐的备用容器;储热容器通过管道与吸热部的出口以及换热器的高温入口连接;备用容器设置与换热器与低温泵之间。

超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统

技术领域

[0001] 本发明涉及热能利用技术领域,尤其涉及一种超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统。

背景技术

[0002] 随着社会的发展,人们对能源的需求越来越大,而石油、天然气之类的能源是不可再生,为了能够持续发展,目前人们在研究各种可开发的再生能源,如太阳能、水能、风能等;但水能、风能对地理位置要求比较高;太阳能就较为普遍;太阳能在利用时,一般采用光伏发电的方式将光能转化为电能;然而相对于光电转化系统,太阳能热做功装置是一种廉价的热能利用系统,可以稳定持续的对外输出做功,如发电;为了很好的开发太阳热能,目前有不少科研者对此进行研发,提高热能效率;如申请号为:CN201811331984.6,名称为:一种超临界二氧化碳布雷顿循环塔式太阳能热发电系统的专利文献,在热能传递过程中,通过高温的熔盐将热能传递给超临界二氧化碳,超临界二氧化碳吸热后,热能用于驱动蒸汽轮机带动发电机工作对外发电,热交换采用熔融盐蒸汽发生器和超临界二氧化碳蒸汽发生器,然而蒸汽发生器的热交换效率较低,能量损失较大;为提高热能利用率,增加热交换效率,不少研发者把目光投向了印刷电路板式换热器(PCHE),然而如何设计换热器提高换热效率,降低换热器成本成为目前亟需解决的问题。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于解决现有技术的不足,提供一种超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统,该做功系统的换热器具有较高的换热效率,并提高换热速度。

[0004] 本发明的另一目的在于:提供一种换热器,尤其是一种印刷电路板式换热器,该换热器可有效提高换热效率。

[0005] 本发明为实现上述目的采用的技术方案为:

[0006] 超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统,其包括:

[0007] 吸热系统,包括用于吸收外界热能的且装设有热媒介质的吸热部;

[0008] 热循环做功系统,其包括高温泵、低温泵、管道、换热器以及做功系统;吸热部的出口通过管道经高温泵与换热器的降温通道入口连接,换热器的降温通道出口通过管道经低温泵与吸热部的入口连接;做功系统设有气流入口和气流出口,气流入口与换热器的升温通道出口连接,气流出口与换热器的升温通道入口连接;

[0009] 所述换热器为印刷电路板换热器,其包括位于中部的多个堆叠设置的换热板,换热板包括呈间隔设置的熔盐换热板和超临界二氧化碳换热板;熔盐换热板设有多个平行设置的且用于熔盐从左至右流动的熔盐流道,超临界二氧化碳换热板设有多个平行设置的且用于超临界二氧化碳从右至左流动的超临界二氧化碳流道;

[0010] 熔盐流道、超临界二氧化碳流道均呈正弦波形分布;

[0011] 熔盐流道的波峰、波谷总数为 m 个, m 为自然数;熔盐流道被划分为 m 段;

[0012] 超临界二氧化碳流道的波峰、波谷总数也为 m 个,超临界二氧化碳流道也被划分为 m 段,且从左至右熔盐流道的第 i 段与超临界二氧化碳流道的第 i 段的波长相等。 $1 \leq i \leq m$;即,熔盐流道与超临界二氧化碳流道对应的每段单元的波长相等。

[0013] 进一步地,预定熔盐流道每段的温度差为 $\Delta T_i = (T_i - T_{(i+1)})$; T_i 表示每段熔盐流道的起始温度;超临界二氧化碳流道每段的温度差为 $\Delta T_{1i} = T_{1(i+1)} - T_{1(i)}$; T_{1i} 表示第 i 段超临界二氧化碳流道的起始温度;建立方程式:

[0014] $C_1 \times \Delta T_{1i} = P_1(w_i) / \rho_{(\text{超临界二氧化碳})} + (P(w_i) / \rho_{\text{熔盐}} + C \Delta T_i) \times \rho_{\text{熔盐}} \times V_{\text{熔盐}} \times S / (\rho_{\text{超临界二氧化碳}} \times V_{\text{超临界二氧化碳}} \times S_1)$;

[0015] 调整超临界二氧化碳流道、熔盐流道每段的角频率参数,使得超临界二氧化碳流道、熔盐流道的静压强满足上述公式。

[0016] 进一步地,换热器与高温泵之间设有前加压装置。

[0017] 进一步地,低温泵与换热器之间设有后加压装置。

[0018] 进一步地, $\Delta T_i = k_1 \times \pi / w_i$; $\Delta T_{1i} = 0.5 \sim 0.8 \Delta T_i$; k_1 为调节系数。

[0019] 一种印刷电路板换热器,其包括位于中部的多个堆叠设置的换热板,换热板包括呈间隔设置的熔盐换热板和超临界二氧化碳换热板;熔盐换热板设有多个平行设置的且用于熔盐从左至右流动的熔盐流道,超临界二氧化碳换热板设有多个平行设置的且用于超临界二氧化碳从右至左流动的超临界二氧化碳流道;

[0020] 熔盐流道、超临界二氧化碳流道均呈正弦波形分布;

[0021] 熔盐流道的波峰、波谷总数为 m 个, m 为自然数;熔盐流道被划分为 m 段;

[0022] 超临界二氧化碳流道的波峰、波谷总数也为 m 个,超临界二氧化碳流道也被划分为 m 段,且从左至右熔盐流道的第 i 段与超临界二氧化碳流道的第 i 段的波长相等。 $1 \leq i \leq m$;即,熔盐流道与超临界二氧化碳流道对应的每段单元的波长相等。

[0023] 本发明的有益效果为:通过合理的设计超临界二氧化碳流道和熔盐流道,使得换热效率达到最佳,且换热器结构冗余少,降低成本。

附图说明

[0024] 图1为本实施例的一种工作原理示意图。

[0025] 图2为本实施例的换热器一种示意图。

[0026] 图3为熔盐换热板的一种示意图。

[0027] 图4为熔盐流道分段的一种示意图。

[0028] 附图标记:

[0029] 1——塔式定日镜;2——吸热塔;3——吸热系统;4——吸热部;5——低温泵;6——储热容器;7——换热器;8——高温回热器;9——低温回热器;10——一级压缩机;11——预冷器;12——二级压缩机;13——汽轮机;14——发电机;15——做功系统;16——备用容器;71——熔盐换热板;72——超临界二氧化碳换热板;711——熔盐流道;712——波峰;713——波谷;17——高温泵。

具体实施方式

[0030] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步的说明。

[0031] 实施例1:参见图1至图4。

[0032] 超临界二氧化碳布雷顿循环做功系统15,其包括:吸热系统3和热循环做功系统15,吸热系统3用于吸收外界的热能,并存储于吸热部4,吸热部4内设置有热媒介质,热媒介质在本实施例中采用熔盐,熔盐吸收热量后可形成熔融状态;热媒介质通过管道、高温泵17泵入到热循环做功系统15内的换热器7内,在换热器7内热媒介质释放热量,再通过管道、低温泵5泵入到吸热部4吸收热量,以此反复对外输送热能。

[0033] 在具体设置吸热系统3时,可采用塔式定日镜1和吸热塔2的结构;也可以采用反光镜整和焦点吸热的结构,来获取大量的太阳能;还可以采用将吸热部4设置于地下或火山熔岩内,获取地下熔岩或岩浆热能。

[0034] 换热器7将热敏释放的热量传递给低温下的超临界二氧化碳(150-200℃),然后生成高温的超临界二氧化碳(600~750℃),高温的超临界二氧化碳对外做功,并成低温的超临界二氧化碳再回到换热器7。做功系统15可以是发电系统等,可以为现有技术,不再赘述。

[0035] 为了减少成本,印刷电路板的长度、厚度、以及熔盐、超临界二氧化碳的流速达到最佳;

[0036] 印刷电路板包括交错设置的熔盐换热板71和超临界二氧化碳换热板72,熔盐换热板71、超临界二氧化碳换热板72均设有流道,分别为:熔盐流道和超临界二氧化碳流道;流道的横截面优选地呈半圆形(容量与表面积比最大),

[0037] 熔盐流道的波峰、波谷总数为 m 个, m 为自然数;熔盐流道被划分为 m 段;

[0038] 超临界二氧化碳流道的波峰、波谷总数也为 m 个,超临界二氧化碳流道也被划分为 m 段,且从左至右熔盐流道的第 i 段与超临界二氧化碳流道的第 i 段的波长相等。 $1 \leq i \leq m$;即,熔盐流道与超临界二氧化碳流道对应的每段单元的波长相等。

[0039] 流道均呈正弦形或波浪形平行设置;将流道分为多个单元,如一个完整的波形为一个单元;每个单元的分别为:熔盐流道711从左至右为, n_1 、 n_2 、...、 n_j 、 $n_{(j+1)}$ 、...、 n_m ;其长度分别为 Ln_1 、...、 Ln_m ; $Ln_1 + Ln_2 + \dots + Ln_m = S_{\text{总}}$;

[0040] 超临界二氧化碳流道从左至右为: N_1 、 N_2 、...、 N_j 、...、 N_m ;其长度分别为: LN_1 、...、 LN_m ; LN_1 与 Ln_1 的长度相等; LN_j 与 Ln_j 的长度相等;建立一个热传递梯度,并保持, j 为自然数。

[0041] 由于熔盐流道、超临界二氧化碳流道的波长以及段数相同,以熔盐流道711为例对流道进行分析,熔盐流道711的分段函数表达为: $y_i = A \sin((w_i)x)$;以波峰712、波谷713进行分段, i 表示从左至右的段数; x 表示熔盐流道711水平横向距离, y 表示熔盐流道711水平纵向距离; y_i 表示第 i 段熔盐流道711水平纵向距离, w_i 表示第 i 段熔盐流道711水平角频率; $i=1, 2, \dots, m$;熔盐流道711的波峰712、波谷713个数总是为 m 个, m 为自然数。 m 优选为50~100。

[0042] 在进行热传递时,熔盐流道711内的熔盐将部分热量传递给熔盐换热板71,熔盐换热板71在水平方向上形成一个温度梯度;

[0043] 熔盐从第 i 个单元进入至第 $i+1$ 个单元出时,其温度为 T_0 (进入 i 的温度)、 T_1 (进入 $i+1$ 的温度)、 T_2 (出 $i+1$ 的温度);速度对应为 V (平均速度);

[0044] 在通过第 i 个单元时,动能损失: $E_1 = 0.5 \times m \times (V_0^2 - V_1^2)$;其中,能量损伤与材质、粘度、以及流道形状有关。热能损失: $Q = C \times m \times (T_1 - T_0)$; C 为比热容, m 为质量;

[0045] 热能损失有两个方向,1、沿着流道方向(有温度梯度);2、垂直方向;

[0046] 在熔盐换热板71、超临界二氧化碳换热板72中建立热传递平衡;

[0047] 传热板中的热流道形状为均正弦形,采用分段函数表达式: $y_i = A \sin(w_i x)$;A为常量,即幅值为常量;分段以半个波长为一段,即一个波峰712或一个波谷713为一段;每段半个波长为: $S = 2\pi/w_i$ 、 w_i 为角频率;

[0048] 熔盐换热板71的第i段,设定起始熔盐的温度为 T_i 、压强 P_i 、速度 V_i ;通过熔盐该段时,通过热传递进入熔盐换热板71的能量为: E_i , E_i 与温度差 ΔT_i 、导热系数K、以及接触面积 S_i 、流经时间 t_i 有关;

[0049] 流经时间,跟熔盐与熔盐传热板之间的粘力,熔盐传热板的形状等有关;一般说来,第i段的终点,熔盐温度为 $T_{(i+1)}$ 、压强 $P_{(i+1)}$ 、速度 $V_{(i+1)}$ 。

[0050] 考虑到工艺,流道的横截面积基本相等,横截面形状相同;由于为封闭管道,因此,速度V基本保持不变,即: $V_i = V_{(i+1)}$;

[0051] 熔盐经过第i段时,初始能量为: $E_i = 0.5 \times m V_i^2 + EP_i$ (静压能) + mCT_i ;由于是水平移动,没有重力势能变化;终点能量为: $E_{(i+1)} = 0.5 m V_{(i+1)}^2 + EP_{(i+1)} + mCT_{(i+1)}$;C为熔盐比热容系数,m为熔盐质量;

[0052] 能量损失有两部分:1、热传导,传递给熔盐传热板和超临界二氧化碳传热板;2、克服弯道做功,与流道侧壁的碰撞能量损失。

[0053] 在稳定状态下,熔盐传热板以及超临界二氧化碳传热板一直保持一定的温度梯度,水平方向和垂直方向;关于第一部分能量损失,主要流向:1)、超临界二氧化碳获取,以及2)、一部分能量的散失,如果保温性能很好,散失的能量可以忽略不计;即在稳定的工作情况下,熔盐对外热传递的能量被超临界二氧化碳吸收。

[0054] 克服弯道做功,将部分动能转化为热能;熔盐的部分功能,转化为与流道侧壁之间的碰撞、摩擦生成热能,因此,该部分能量仅为转化,并不没有实际上的损失。

[0055] 考虑到热传递过程中,热量传递遵循热阻最小的路径,因此与熔盐距离最近的超临界二氧化碳获得的能量最多,因此在位于第i段的熔盐主要将热量传递给相邻超临界二氧化碳传热板第i段的超临界二氧化碳;

[0056] 熔盐经过第i段单元时,能量损失为 $\Delta E_i = EP_i - EP_{(i+1)} + mC(T_i - T_{(i+1)})$;m与流道横截面积、流速V有关;经过上面分析,该能量的损失绝大部分在于热传递,能量传递给超临界二氧化碳。

[0057] 在垂直方向上,位于相同横向坐标的超临界二氧化碳从上下熔盐中获取能量以提高自身温度,主要通过热传导的方式获取热能。

[0058] 熔盐经过第i段单元的时间为: $t_i = f(w_i, V_i, \eta, P_i)$,与角频率、初始速度、粘度以及初始压强有关;其中,速度保持不变为预定常量;压强变化与波长有关, $P_i = P_{(i-1)} - f(w_{(i-1)})$;压强的变化与形状路径有关,由于幅值保持不变,因此压强与角频率有关;静压能差值用于克服阻力。

[0059] 在单位时间 Δt 内,通过第i段单元的量: $\Delta m_{i(\text{熔盐})} = \Delta t \times V_{\text{熔盐}} \times S \times \rho_{\text{熔盐}}$;S为熔盐流道横街面积,为预定常数, $\rho_{\text{熔盐}}$ 为熔盐密度;能量损失为:

[0060] $\Delta E_i = EP_i - EP_{(i+1)} + (\Delta m_{i(\text{熔盐})}) C(T_i - T_{(i+1)})$;C为熔盐比热容。

[0061] 由于静压能与角频率、质量有关,

[0062] $\Delta EP = EP_i - EP_{(i+1)} = P(w_i) \times \Delta m_{i(\text{熔盐})} / \rho_{\text{熔盐}}$;

[0063] 由此可见 $\Delta E_i = (\Delta m_{i(\text{熔盐})}) \times (P(w_i) / \rho_{\text{熔盐}} + C \Delta T_i)$;

[0064] $P(w_i)$ 表示第*i*段两端的静压差;由此可见,传热能量多少与角频率以及温度差有关。 $\Delta T_i = (T_i - T_{(i+1)})$ 。

[0065] 为减少热传递路径,减少热损失;将超临界二氧化碳流道的单元与熔盐流道711的单元设计为宽度相同;即波长相等。

[0066] 在垂直方向上,超临界二氧化碳换热板72吸收来自相邻上方和/或下方的熔盐换热板71的热量,在设置时,两种换热板的数量相等;因此超临界二氧化碳换热板72每个单元吸收的热量大致相当于对应上方或下方熔盐单元损失的能量;

[0067] 针对于超临界二氧化碳换热板72,其流道的流向与熔盐换热板71的流道方向相反,其流动方向为:第*i*+1个单元流向第*i*个单元;在其过程中需要考虑以下因素:

[0068] 1、速度变化;在密封管道内,超临界二氧化碳为液态,没有相变、体积变化很小;因此速度基本没有变化;

[0069] 2、静压能的变化;

[0070] 3、温度变化;由 $T_{1(i+1)}$ 变为: $T_{1(i)}$,逐渐增大 $T_{1(i)}$ 表示超临界二氧化碳在第*i*段起始温度;

[0071] 能量变化有:1、自身热能变化: $\Delta W_i = C_1 \times (T_{1(i+1)} - T_{1(i)}) \times \Delta m_i$ (超临界二氧化碳); Δm_i (超临界二氧化碳) = $\rho_{\text{超临界二氧化碳}} \times S_1 \times \Delta t \times V_{\text{超临界二氧化碳}}$; S_1 为超临界二氧化碳流道的横截面积; C_1 表示超临界二氧化碳比热容; $\rho_{\text{超临界二氧化碳}}$ 表示超临界二氧化碳的密度;

[0072] 2、静压能损失: $\Delta P_{1(i)} = EP_{1(i+1)} - EP_{1(i)}$; $EP_{1(i)}$ 表示超临界二氧化碳第*i*单元的初始静压能。静压能 $\Delta P_{1(i)}$ 的变化与 W_i 有关,

[0073] $\Delta P_{1(i)} = EP_{1(i+1)} - EP_{1(i)} = P_1(w_i) \times \Delta m_i$ (超临界二氧化碳) / $\rho_{\text{超临界二氧化碳}}$;

[0074] 根据能量守恒, $\Delta W_i = \Delta P_{1(i)} + \Delta E_i$;

[0075] $C_1 \times (T_{1(i+1)} - T_{1(i)}) \times \Delta m_i$ (超临界二氧化碳) = $EP_{1(i+1)} - EP_{1(i)} + (\Delta m_i$ (熔盐)) $\times (P(w_i) / \rho_{\text{熔盐}} + C \Delta T_i)$ 。

[0076] 设定: $\Delta T_{1i} = T_{1(i+1)} - T_{1(i)}$; ΔT_{1i} 表示第*i*段超临界二氧化碳流道的首尾温差。

[0077] $\Delta P_{1(i)} = EP_{1(i+1)} - EP_{1(i)} = P_1(w_i) \times \Delta m_i$ (超临界二氧化碳) / $\rho_{\text{超临界二氧化碳}}$;

[0078] $P_1(w_i)$ 表示超临界二氧化碳流道第*i*段静压强差;其值为随角频率变化的函数。 ΔT_{1i} 表示第*i*段超临界二氧化碳流道的首尾温差。

[0079] $C_1 \times \Delta T_{1i} \times \Delta m_i$ (超临界二氧化碳) = $P_1(w_i) \times \Delta m_i$ (超临界二氧化碳) / $\rho_{\text{超临界二氧化碳}} + (\Delta m_i$ (熔盐)) $\times (P(w_i) / \rho_{\text{熔盐}} + C \Delta T_i)$;

[0080] Δm_i (超临界二氧化碳) = $\Delta t \times V_{\text{超临界二氧化碳}} \times \rho_{\text{超临界二氧化碳}}$;

[0081] $C_1 \times \Delta T_{1i} = P_1(w_i) / \rho_{\text{超临界二氧化碳}} + (P(w_i) / \rho_{\text{熔盐}} + C \Delta T_i) \times \rho_{\text{熔盐}} \times V_{\text{熔盐}} \times S / (\rho_{\text{超临界二氧化碳}} \times V_{\text{超临界二氧化碳}} \times S_1)$ 。

[0082] 对每个单元的温度梯度进行设置;对参数(主要是 W_i 以及横截面 S 、 S_1)进行优化,使得从熔盐释放的热能,能够在单位时间内刚好被超临界二氧化碳吸收,没有多余的等待、缓冲单元(避免出现:1、熔盐释放能量过多,需要设置多的对应单元,进行等待或缓冲,否则超临界二氧化碳吸收不完全,熔盐不能将预定的能量完全释放,浪费能量;2、熔盐是否能量过少,超临界二氧化碳不能被很好利用,加热到预定温度)。

[0083] 其次,释放的能量,与传热能力相匹配。即单位时间内释放的能量,不大于单位时间内最大的传热能量。传热能力: $\Delta Q = K \Delta S$; K 为导热系数; ΔS 为导热面积;这项可以通过

选传热板的材质来克服;即选择导热系数较大的材质。

[0084] $P_1(w_1)$ 、以及 $P(w_1)$ 可以通过插值函数获得,即通过多个离散点值的获取,然后用插值函数进行拟合,如拉格朗日函数等。

[0085] 进一步地, $\Delta T_i = k_1 \times \pi / w_i$; $\Delta T_{1i} = 0.5 \sim 0.8 \Delta T_i$; k_1 为调节系数。

[0086] 流道每段的水平温度梯度与每段的波长呈正比设置,可以使得温度梯度分布较为合理,可避免具体热能集中较多,改变了传热主方向,影响到超临界二氧化碳获取热能的稳定性。根据设计,传热主方向是竖直方向;如果局部热能较多,水平温差比竖直温差更大;会导致该局部的传热方向为水平方向,从而影响到整体的热能传输效率, k_1 可根据传热系数、比热容等进行调整。

[0087] 优选地,超临界二氧化碳流道与熔盐流道711的结构相同。

[0088] 由于传热板均采用印刷电路板的蚀刻工艺,为方便制作,降低成本,采用相同的流道结构。当然也可以采用形状不同的横截面积。其次,超临界二氧化碳传热板与熔盐传热板的数量相同,以使得换热器内部的温度提高更加均匀。

[0089] 进一步地,所述做功系统15包括汽轮机13和发电机14,汽轮机13的输出轴与发电机14的输入轴连接。

[0090] 做功系统15主要通过汽轮机13将高温高压的超临界二氧化碳能量转换为机械能并对外输出,输出给发电机14。当然也可以输出给其他做功系统15,如发动机、活塞等。

[0091] 进一步地,所述做功系统15还包括高温回热器8、低温回热器9、一级压缩机10以及预冷器;汽轮机13的气流出口通过管道与高温回热器8的高温入口连接,高温回热器8的高温出口通过管道与低温回热器9的高温入口连接,低温回热器9的高温出口通过管道依次与预冷器11、一级压缩机10的入口连接,一级压缩机10的出口通过管道与低温回热器9的低温入口连接,低温回热器9的低温出口与高温回热器8的低温入口连接,高温回热器8的低温出口与换热器7的升温通道入口连接。

[0092] 汽轮机13的气流入口即所述做功系统15的气流入口;高温高压的超临界二氧化碳气体从换热器7出来通过管道进入汽轮机13,并对汽轮机13做功;然后变成低温低压的超临界二氧化碳,低温低压的超临界二氧化碳依次流经高温回热器8、低温回热器9的高温通道,然后在预冷器11内进一步的放热,降低温度;再进入一级压缩机10进行体积压缩,形成高压低温的超临界二氧化碳;高温低压的超临界二氧化碳依次通过高温回热器8、低温回热器9的低温通道再进入换热器7的升温通道。在此过程中,需要对超临界二氧化碳进行升压,因此采用一级压缩机10以及预冷器11;为避免热能浪费,因此设置了高温回热器8、低温回热器9;低温低压超临界二氧化碳在进入预冷器11前,先与流经高温回热器8、低温回热器9的低温高压超临界二氧化碳进行换热,减少在预冷器11释放的热能。

[0093] 进一步地,做功系统15还包括二级压缩机12;低温回热器9的高温出口连接有三通阀,三通阀设有一个入口和两个出口,入口与低温回热器9的高温出口通过管道连接,三通阀的两个出口分别与二级压缩机12、预冷器11连接;二级压缩机12通过管道与高温回热器8的低温入口连接;优选地,三通阀的两个出口之间设有切换开关,当低温低压超临界二氧化碳的温度低于预定值时,低温低压超临界二氧化碳直接流向二级压缩机12;否则,低温低压超临界二氧化碳直接流向预冷器11。

[0094] 设置二级压缩机12以及三通阀,可以缓解一级压缩机10的工作压力;同时,还可以

根据低温低压的温度来选择流向;避免预冷器11空转,减少功耗。

[0095] 进一步地,所述吸热系统3还包括用于存储高温熔盐的储热容器6和用于存储低温熔盐的备用容器16;储热容器6通过管道与吸热部4的出口以及换热器7的高温入口连接;备用容器16设置与换热器7与低温泵5之间。

[0096] 当吸热部4吸收的热量速率较快时,如中午光照;则会要求吸热系统3的热循环加快,然而换热器7的热传递速度是有上限的,因此会导致熔盐的热能不能被充分交换,从换热器7出来的熔盐温度比预定温度要高,运行时间长了,导致整个吸热系统3内的熔盐到处于较高温度,导致能量损失较大;为避免这种情况发生,本技术方案设置了储热容器6和备用容器16;在吸热部4吸热速率较快时,将部分高温熔盐存入储热容器6,然后将低温的熔盐补充入吸热系统3。当吸热部4吸收热量速率降低了,可以通过将储热容器6内的高温熔盐泵入换热器7,以保证高温熔盐进入换热器7的量。

[0097] 实施例2:参见图2、图3、图4;一种用于超临界二氧化碳与熔盐换热的印刷电路板换热器,其包括位于中部的多个堆叠设置的换热板,换热板包括呈间隔设置的熔盐换热板71和超临界二氧化碳换热板72;熔盐换热板71设有多条平行设置的且用于熔盐从左至右流动的熔盐流道711,超临界二氧化碳换热板72设有多条平行设置的且用于超临界二氧化碳从右至左流动的超临界二氧化碳流道;

[0098] 熔盐流道711、超临界二氧化碳流道均呈正弦波形分布;

[0099] 熔盐流道的波峰、波谷总数为 m 个, m 为自然数;熔盐流道被划分为 m 段;

[0100] 超临界二氧化碳流道的波峰、波谷总数也为 m 个,超临界二氧化碳流道也被划分为 m 段,且从左至右熔盐流道的第 i 段与超临界二氧化碳流道的第 i 段的波长相等。 $1 \leq i \leq m$;即,熔盐流道与超临界二氧化碳流道对应的每段单元的波长相等。 m 优选为50~100。

[0101] 目前的换热器在进行热量传递时,内部的换热器一般会设计较多的冗余结构,使得熔盐和超临界二氧化碳有充足的时间进行热交换;然而这种冗余结构设计,会导致熔盐、超临界二氧化碳流经的时间增加,降低熔盐、超临界二氧化碳的换热效率,同时也会增加换热器的成本。本技术方案采用对各个流道进行分段,而且每个流道的分段波长均相同,即所有熔盐流道第 i 段波长、所有超临界二氧化碳流道第 i 段波长均相等;但每个流道自身的分段波长不一定相等。这样换热器在工作时,当进入一个稳定的热传递状态时,换热器内部将形成一个温度梯度,各个换热板从左到右形成一个温度梯度,换热板与相邻的两块换热板之间在垂直方向上形成一个温度梯度;这种温度梯度可以一直保持,如在整体的第 j 段,熔盐流道的第 j 段熔盐将热能主要传递给超临界二氧化碳流道的第 j 段超临界二氧化碳, $1 \leq j \leq m$ 。从而可以避免换热器内部温度处于波动性。

[0102] 进一步地,预定熔盐流道每段的温度差为 $\Delta T_i = (T_i - T_{(i+1)})$; T_i 表示每段熔盐流道的起始温度;超临界二氧化碳流道每段的温度差为 $\Delta T_{1i} = T_{1(i+1)} - T_{1(i)}$; T_{1i} 表示第 i 段超临界二氧化碳流道的起始温度;建立方程式:

$$[0103] \quad C_1 \times \Delta T_{1i} = P_1(w_i) / \rho_{(\text{超临界二氧化碳})} + (P(w_i) / \rho_{\text{熔盐}} + C \Delta T_i) \times \rho_{\text{熔盐}} \times V_{\text{熔盐}} \times S / (\rho_{\text{超临界二氧化碳}} \times V_{\text{超临界二氧化碳}} \times S_1);$$

[0104] 超临界二氧化碳的温度升高吸收的热量有3部分,1、熔盐温度降低热传递;2、熔盐静压能(转化为热能);3、超临界二氧化碳静压能(转化为热能);

[0105] Δt 时间内,流经第 i 段超临界二氧化碳因温度升高需要吸收的热量:

[0106] $C_1 \times \Delta T_{1i} \times \Delta m_i$ (超临界二氧化碳); 红色部分:

[0107] Δm_i (超临界二氧化碳) = $\Delta t \times V_{\text{超临界二氧化碳}} \times \rho_{\text{超临界二氧化碳}} \times S_1$;

[0108] $P_1(w_i) \times \Delta m_i$ (超临界二氧化碳) / $\rho_{\text{超临界二氧化碳}}$ 为超临界二氧化碳静压能损失;

[0109] $C \Delta T_i \times \Delta m_i$ (熔盐) 熔盐温度降低释放的热量;

[0110] Δm_i (熔盐) = $\Delta t \times V_{\text{熔盐}} \times \rho_{\text{熔盐}} \times S$;

[0111] $P(w_i) \times \Delta m_i$ (熔盐) / $\rho_{\text{熔盐}}$ = 熔盐静压能损失;

[0112] $C_1 \times \Delta T_{1i} \times \Delta m_i$ (超临界二氧化碳) = $P_1(w_i) \times \Delta m_i$ (超临界二氧化碳) / $\rho_{\text{超临界二氧化碳}}$ + $P(w_i) \times \Delta m_i$ (熔盐) / $\rho_{\text{熔盐}}$ + $C \Delta T_i \times \Delta m_i$ (熔盐)。

[0113] $C_1 \times \Delta T_{1i} = P_1(w_i) / \rho_{\text{超临界二氧化碳}} + (P(w_i) / \rho_{\text{熔盐}} + C \Delta T_i) \times \Delta m_i$ (熔盐) / Δm_i (超临界二氧化碳);

[0114] $C_1 \times \Delta T_{1i} = P_1(w_i) / \rho_{\text{超临界二氧化碳}} + (P(w_i) / \rho_{\text{熔盐}} + C \Delta T_i) \rho_{\text{熔盐}} \times V_{\text{熔盐}} \times S / (\rho_{\text{超临界二氧化碳}} \times V_{\text{超临界二氧化碳}} \times S_1)$;

[0115] 调整超临界二氧化碳流道、熔盐流道每段的角频率参数,使得超临界二氧化碳流道、熔盐流道的静压强满足上述公式。且 $1 < i < m$, i 为自然数。

[0116] 满足上述公式的熔盐流道、超临界二氧化碳流道在输送熔盐、超临界二氧化碳时,能够形成稳定的温度梯度,超临界二氧化碳流道、熔盐流道没有冗余设计,节省成本。优选地, $\Delta T_i = 1.1 \sim 1.5 \Delta T_{i+1}$; $\Delta T_{1i} = 1.1 \sim 1.5 \Delta T_{1(i+1)}$ 。

[0117] 进一步地, $\Delta T_i = k_1 \times \pi / w_i$; $\Delta T_{1i} = 0.5 \sim 0.8 \Delta T_i$; k_1 为调节系数。

[0118] k_1 可以根据传热板的材质、熔盐材质等进行调整。 $k_1 = 1 \sim 1.5$ 。

[0119] 本发明作了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的实质和范围。

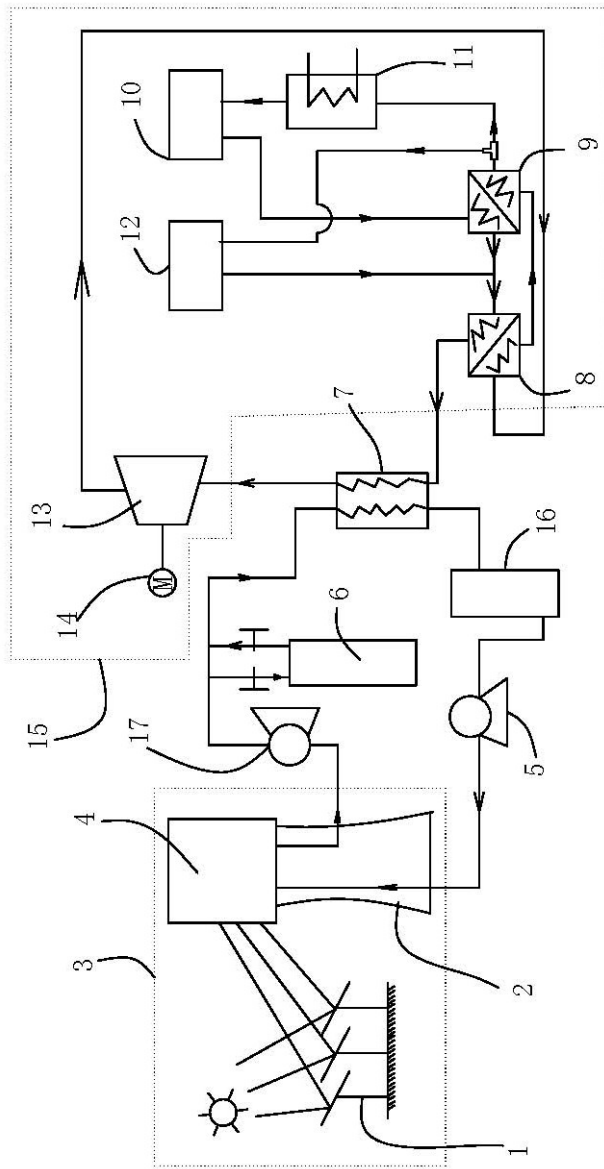


图1

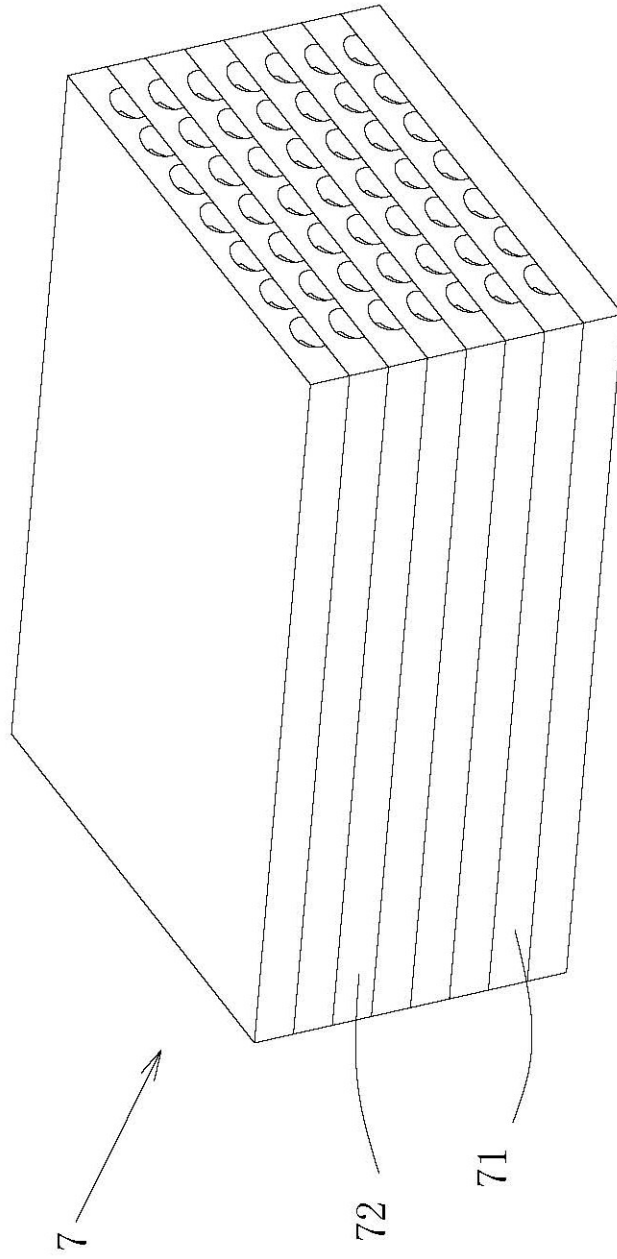


图2

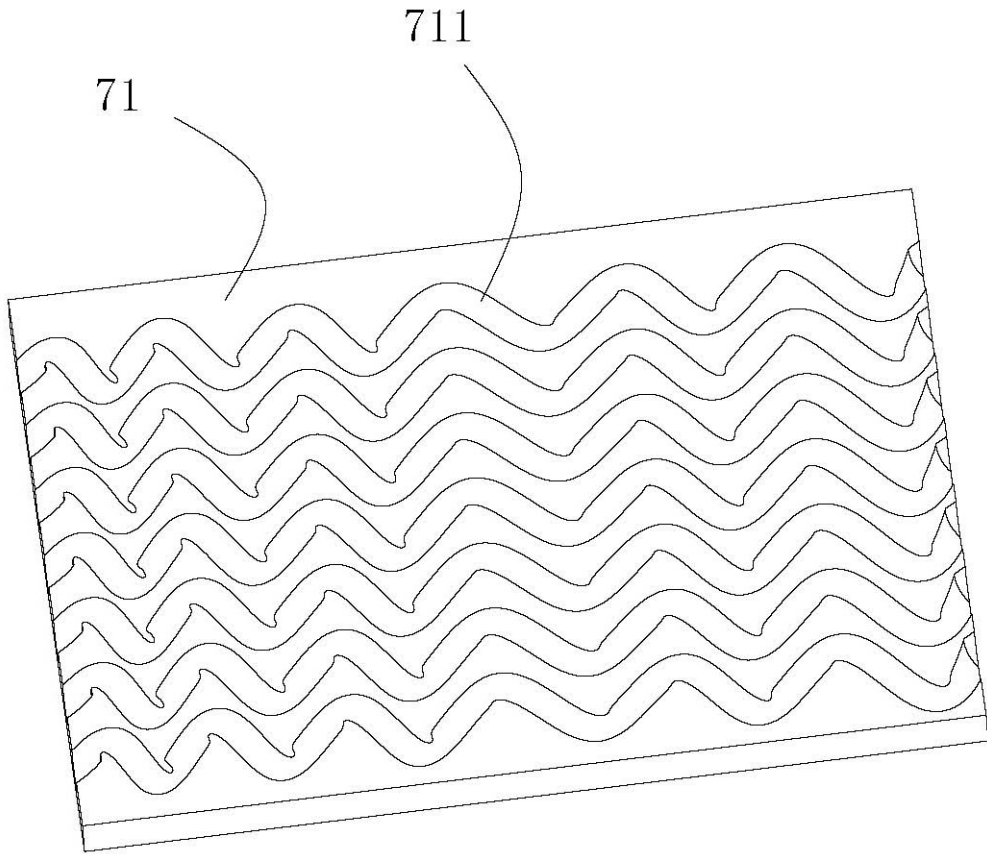


图3

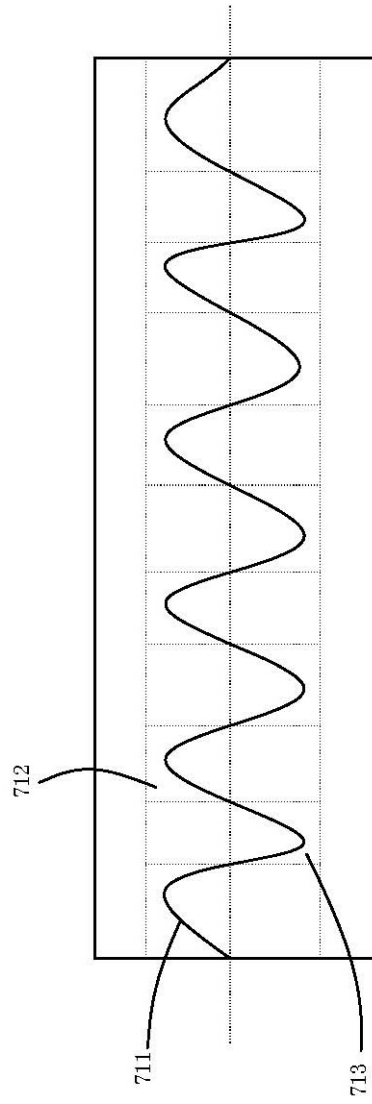


图4