



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115046416 A

(43) 申请公布日 2022. 09. 13

(21) 申请号 202210675101.3

(22) 申请日 2022.06.15

(71) 申请人 西安热工研究院有限公司
地址 710032 陕西省西安市碑林区兴庆路
136号

(72) 发明人 韩伟 宋晓辉 姬海民 陆续
付康丽 姚明宇

(74) 专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事
务所(普通合伙) 11201
专利代理师 赵迪

(51) Int.Cl.
F28D 20/00 (2006.01)
F28F 27/00 (2006.01)

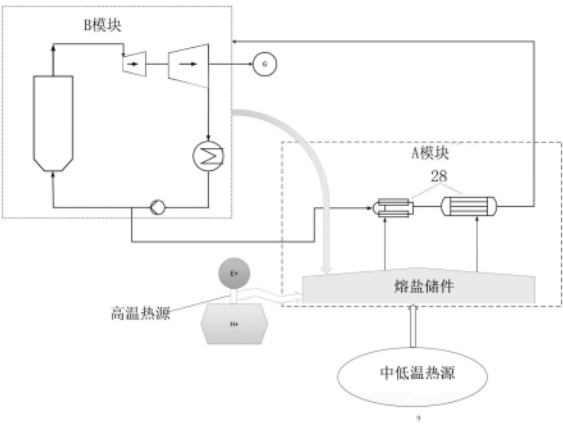
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能系
统及工作方法

(57) 摘要

本发明提出基于广义热泵提质的卡诺电
池熔盐储能系统及工作方法,基于广义热
泵提质的卡诺电池熔盐储能技术及其工
作方法主要解决大规模熔盐储能耦合火
电机组灵活性改造、退役机组改造、构
建卡诺电池储能电站时储能效率低的问
题。本发明实施例基于广义热泵的工作
原理,利用现有热力系统,耦合熔盐储
能系统,利用少量高品位电能或者高温
热源作为驱动力,从广义的中低温热源
中吸收数量多、品位较低的热量进入熔
盐储能系统,进而通过熔盐-水换热器交
换热量加热给水产生高品位蒸汽,进入
热力系统做功。最终可实现利用现有成
熟设备及应用技术的前提下实现总储能
效率达到60%以上。



1. 一种基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能系统,其特征在于,其包括:

卡诺电池熔盐储能电站;其包括热力发电系统和熔盐储能系统;所述熔盐储能系统包括熔盐储件以及熔盐吸热回路和熔盐放热回路;所述熔盐吸热回路中设置低温段熔盐换热器和高温段熔盐换热器;所述熔盐放热回路中产生的高品位蒸汽通入所述热力发电系统中做功;

中低温热源;其输出端连接所述低温段熔盐换热器的热侧,对所述低温段熔盐换热器冷侧的熔盐加热;和

驱动热源;其输出端连接所述高温段熔盐换热器对所述熔盐吸热回路中的熔盐加热。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述熔盐放热回路中设置熔盐-水/蒸汽换热组件;所述熔盐-水/蒸汽换热组件吸收所述熔盐储件中的熔盐放热时的热量并产生所述高品位蒸汽,构成了虚拟广义热泵的蒸发吸热段;所述高品位蒸汽通入所述热力发电系统中做功构成所述广义热泵的膨胀冷却段。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述熔盐-水/蒸汽换热组件包括给水入口和吸热蒸汽出口,其中所述给水入口连接所述热力发电系统的高压给水出口;高压给水与所述熔盐放热回路中的熔盐换热产生所述高品位蒸汽;所述吸热蒸汽出口连接所述热力发电系统的汽轮机进口。

4. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述驱动热源至少满足以下其中之一;

(1) 所述驱动热源为电能转化且所述高温段熔盐换热器为电加热器;所述电加热器参与所述热力发电系统快速调频;所述电能为电网谷电、新能源弃电、热力发电系统电能中的至少一种;

(2) 所述驱动热源为高温热源;其中所述高温热源的输入端连接外接热源和/或所述热力发电系统的蒸汽输出端,其中用作所述高温热源的蒸汽为所述热力发电系统的高参数抽汽。

5. 根据权利要求1-3任一所述的系统,其特征在于,所述熔盐储能系统为熔盐与相变储热或化学储热的组合。

6. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述熔盐储件包括高低温双储罐、单罐、高低参数双组合储罐中的一种以及其附属盐泵、阀门、管道。

7. 根据权利要求5所述的系统,其特征在于,所述中低温热源包括广义的余汽、高温废气、所述热力发电系统中的抽汽、相邻的热力发电系统中的抽汽中的至少一种。

8. 根据权利要求2或3中所述的系统,其特征在于,所述熔盐-水/蒸汽换热组件包括至少一个熔盐-水换热器和至少一个熔盐-蒸汽换热器;所述熔盐-水换热器和所述熔盐-蒸汽换热器串联。

9. 一种基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能系统的工作方法,其特征在于,对权利要求1-8中任一所述储能系统投入工作,方法包括储能过程和释能过程;

储能过程:当电网负荷处于波谷时段:中低温热源通入低温段熔盐换热器的热侧并将低品位热量存储于低温段的熔盐中;驱动热源再次对吸热后的熔盐加热;熔盐在熔盐吸热回路中梯级升温后存储;

释能过程:当电网处于波峰时段:高压给水依次通过熔盐-水换热器、熔盐-蒸汽换热器后生成高品位蒸汽;所述高品位蒸汽通入所述热力发电系统中做功,做功后的乏汽排至所

述热力发电系统的凝汽器进行冷凝循环。

基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能系统及工作方法

技术领域

[0001] 本发明属于熔盐储能技术领域,尤其涉及基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能系统及工作方法。

背景技术

[0002] 在众多储能技术中,熔盐储能兼备大规模、长时长以及低成本的特点,在与火电机组的灵活性改造和退役机组改造中得到广泛的关注。现有较多的火电机组面临退役,将退役机组改造成熔盐储能电站,可以保留火电厂大部分设备和资产。在现有技术路线下,火电机组的退役改造方案主要是在常规热力系统的基础上,增加一套熔盐储能系统,熔盐直接采用电加热器加热,整体储能效率在40%左右;此外若利用火电机组的汽轮机抽汽加热熔盐,高品位蒸汽在换热过程中不可逆损失大,控制复杂,储能效率提升有限,大约在45%左右。按照目前退役机组进行熔盐储能改造示范的发展路径,如何利用退役的火电机组与熔盐储能系统结合且提高提高整体储能的效率是较为困难的;而利用高温热泵甚至可逆高温热泵来提高整体储能的效率从而改造大型火电机组仍处于研发阶段,尚未应用。

发明内容

[0003] 本发明旨在至少在一定程度上解决相关技术中的技术问题之一。

[0004] 为此,本发明的目的在于提出了一种基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能系统及工作方法,基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能技术及其工作方法主要解决大规模熔盐储能耦合火电机组灵活性改造、退役机组改造、构建卡诺电池储能电站时储能效率低的问题。本发明实施例基于广义热泵的工作原理,利用现有热力系统耦合熔盐储能系统,利用少量高品位电能或者高温热源作为驱动力,从广义的中低温热源中吸收数量多、品位较低的热量进入熔盐储能系统,进而通过熔盐-水/蒸汽换热组件交换热量加热给水产生高品位蒸汽,进入热力系统做功。最终可实现利用现有成熟设备及应用技术的前提下实现总储能效率达到60%以上。

[0005] 为达到上述目的,本发明实施例提出一种基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能系统,其包括:

[0006] 卡诺电池熔盐储能电站;其包括热力发电系统和熔盐储能系统;所述熔盐储能系统包括熔盐储件以及熔盐吸热回路和熔盐放热回路;所述熔盐吸热回路中设置低温段熔盐换热器和高温段熔盐换热器;所述熔盐放热回路中产生的高品位蒸汽通入所述热力发电系统中做功;

[0007] 中低温热源;其输出端连接所述低温段熔盐换热器的热侧,对所述低温段熔盐换热器冷侧的熔盐加热;和

[0008] 驱动热源;其输出端连接所述高温段熔盐换热器对所述熔盐吸热回路中的熔盐加热。

[0009] 在一些实施例中,所述熔盐放热回路中设置熔盐-水/蒸汽换热组件;所述熔盐-

水/蒸汽换热组件吸收所述熔盐储件中的熔盐放热时的热量并产生所述高品位蒸汽,构成了虚拟广义热泵的蒸发吸热段;所述高品位蒸汽通入所述热力发电系统中做功构成所述广义热泵的膨胀冷却段。

[0010] 在一些实施例中,所述熔盐-水/蒸汽换热组件包括给水入口和吸热蒸汽出口,其中所述给水入口连接所述热力发电系统的高压给水出口;高压给水与所述熔盐放热回路中的熔盐换热产生所述高品位蒸汽;所述吸热蒸汽出口连接所述热力发电系统的汽轮机进口。

[0011] 在一些实施例中,所述驱动热源至少满足以下其中之一;

[0012] (1) 所述驱动热源为电能转化且所述高温段熔盐换热器为电加热器;所述电加热器参与所述热力发电系统快速调频;所述电能为电网谷电、新能源弃电、热力发电系统电能中的至少一种;

[0013] (2) 所述驱动热源为高温热源;其中所述高温热源的输入端连接外接热源和/或所述热力发电系统的蒸汽输出端,其中用作所述高温热源的蒸汽为所述热力发电系统的高参数抽汽。

[0014] 在一些实施例中,所述熔盐储能系统为熔盐与相变储热或化学储热的组合。

[0015] 在一些实施例中,所述熔盐储件包括高低温双储罐、单罐、高低参数双组合储罐中的一种以及其附属盐泵、阀门、管道。

[0016] 在一些实施例中,所述中低温热源包括广义的余汽、高温废气、所述热力发电系统中的抽汽、相邻的热力发电系统中的抽汽中的至少一种。

[0017] 在一些实施例中,所述熔盐-水/蒸汽换热组件包括至少一个熔盐-水换热器和至少一个熔盐-蒸汽换热器;所述熔盐-水换热器和所述熔盐-蒸汽换热器串联。

[0018] 在一些实施例中,本实施例提出了一种基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能系统的工作方法,对上述任一实施例中的所述储能系统投入工作,方法包括储能过程和释能过程;

[0019] 储能过程:当电网负荷处于波谷时段:中低温热源通入低温段熔盐换热器的热侧并将低品位热量存储于低温段的熔盐中;驱动热源再次对吸热后的熔盐加热;熔盐在熔盐吸热回路中梯级升温后存储;

[0020] 释能过程:当电网处于波峰时段:高压给水依次通过熔盐-水换热器、熔盐-蒸汽换热器后生成高品位蒸汽;所述高品位蒸汽通入所述热力发电系统中做功,做功后的乏汽排至所述热力发电系统的凝汽器进行冷凝循环。

[0021] 本发明实施例中的技术方案相较于现有技术具有如有益的技术效果:

[0022] (1) 利用现有的应用技术和成熟设备实现60%以上综合储能效率;

[0023] (2) 该技术是现阶段退役机组改造方案中最具有竞争力的方案,有望利用高温热泵技术研发的瓶颈期,率先实现国内首台高效独立熔盐储能电站的改造与示范;

[0024] (3) 本发明用于退役机组改造时改造量小、一次性投资相对较低,系统整体效率高,所应用技术成熟。

[0025] (4) 用少量高品位热源可以驱动大量来自余汽、废气以及临机排汽等的中低温热源进入熔盐系统,实现高效转化。

[0026] 附加的方面和优点将在下面的描述中部分给出,部分将从下面的描述中变得明

显,或通过本发明的实践了解到。

附图说明

[0027] 本发明上述的和/或附加的方面和优点从下面结合附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解,其中:

[0028] 图1是本发明一实施例提出的基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能系统的示意图;

[0029] 图2是本发明一实施例提出的基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能系统储能工作示意图;

[0030] 图3是本发明一实施例提出的基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能系统释能工作示意图;

[0031] 图中,1、锅炉;2、高压缸;3、中压缸;4、排汽控制阀;5、低压缸;6、发电机;7、凝汽器;8、凝结水泵;9、低压加热器;10、除氧器;11、给水泵;12、高压加热器;13、调节阀;14、高参数低温盐罐;15、高参数熔盐泵;16、低温段熔盐换热器;17、电加热器;18、高参数高温盐罐;19、低参数低温盐罐;20、低参数熔盐泵;24、低参数高温盐罐;25、熔盐预热器;26、熔盐蒸汽发生器;27、熔盐过热器;28、熔盐-水/蒸汽换热组件。

具体实施方式

[0032] 下面详细描述本发明的实施例,实施例的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,仅用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。相反,本发明的实施例包括落入所附加权利要求书的精神和内涵范围内的所有变化、修改和等同物。

[0033] 为达到上述目的,如图1-图3本发明实施例提出一种基于广义热泵提质的卡诺电池熔盐储能系统,其包括卡诺电池熔盐储能电站,中低温热源和驱动热源;其中卡诺电池熔盐储能电站其包括热力发电系统和熔盐储能系统;熔盐储能系统为熔盐与相变储热、化学储热以及其他储热技术的任意一种储热技术的组合,主要包括熔盐储件以及熔盐吸热回路和熔盐放热回路;熔盐吸热回路中设置低温段熔盐换热器16和高温段熔盐换热器;熔盐放热回路中产生的高品位蒸汽通入热力发电系统中做功。

[0034] 其中热力发电系统为现有的常规设置,具体可示例性如图2和图3所示,其工作的流程为:自锅炉1过热器出口a的蒸汽进入高压缸2做功,高压缸2中的排汽进入锅炉1再热器,再热器出口b的蒸汽进入中压缸3做功,中压缸3排汽与低压缸5之间设置有排汽控制阀4,通过排气控制阀4控制中压缸3排汽可实现低压缸5零出力工作;进入低压缸5的蒸汽做完功后排入凝汽器7,同时带动发电机6发电,凝汽器7中的冷凝水通过凝结水泵8、低压加热器9进入除氧器10,在除氧器10中再次加热后,利用给水泵11打入高压加热器12,最后进入锅炉1中,完成整个动力循环。

[0035] 为方便理解的,其中a为锅炉1过热器出口,b为锅炉1再热器出口,c为主蒸汽抽汽口,e为热再蒸气抽汽口,f为低温段熔盐换热器16的蒸气侧进口,d为凝汽器7进口;g为高压给水出口,h为再热蒸汽进汽管道。

[0036] 在储能过程中如图2所示,低温热源的输出端连接低温段熔盐换热器16的热侧,对

熔盐吸热回路上低温段熔盐换热器16冷侧的熔盐加热,此时大量低品位热量存储于熔盐储件的低温段的熔盐中;低温段的熔盐吸收低品位热量后进入高温段,此时驱动热源利用高温段熔盐换热器再次对熔盐加热进行提质,低温的熔盐在本实施例的熔盐吸热回路中逐级梯度升温后进行存储。在释能过程中如图3所示,通过熔盐放热回路中设置熔盐-水/蒸汽换热组件28;熔盐-水/蒸汽换热组件28与熔盐储件中的熔盐放热时进行换热产生高品位,而蒸汽高品位蒸汽可通入热力发电系统中做功。

[0037] 因此本实施例中的技术方案可理解为:由熔盐储能系统组成的A模块、现有热力发电系统组成的B模块、中低温热源、驱动热源整体构成一个广义热泵,具体如图1所示;其中A模块相当于广义热泵的蒸发吸热段,B模块整体相当于广义热泵膨胀冷却段,蒸汽在透平中做功过程近似于绝热膨胀,冷凝蒸汽在给水泵11中近似于绝热压缩。

[0038] 其中广义热泵的工作过程可以描述为:

[0039] 首先确定中低温热源和驱动热源;可理解的中低温热源包括广义的余汽、高温废气、热力发电系统中的抽汽、相邻的热力发电系统中的抽汽中的至少一种,中低温热源可理解为各种低品位热源,这部分热源的特征是能量品位低、数量大,不宜直接利用或者直接利用效率低;

[0040] 驱动热源可以理解为以下其中之一;

[0041] (1) 驱动热源为电能转化且高温段熔盐换热器为电加热器17;电加热器17可参与热力发电系统快速调频;电能为电网谷电、新能源弃电、热力发电系统电能中的至少一种;

[0042] (2) 驱动热源为高温热源;其中高温热源的输入端连接外接热源和/或热力发电系统的蒸汽输出端,其中用作高温热源的蒸汽为高参数抽汽。其中驱动热源的作用为进一步加热进入熔盐储件中的大量低品位热量,使得熔盐储件中熔盐储存的能量品位逐步提高;而这部分驱动热源的特征是品位高、数量少。

[0043] 可理解的,驱动热源若采用电能,则优先利用电网谷电或者新能源弃电;若驱动热源采用高温热源,则采用外部高温热源或者热力发电系统本身的高温段参数进行换热;熔盐在吸热回路逐级梯度升温后进入高温盐罐进行存储

[0044] 本实施例中通过低温热源和驱动热源将熔盐储件中的能量品位逐步提高;而高压给水通过熔盐-水/蒸汽换热组件28吸收熔盐储件中的熔盐的热量,产生高品位蒸汽,而高品位蒸汽可通入热力发电系统中做功,发电,获得电能,最后做完功的乏汽在凝汽器7中冷凝,通过给水泵11增压后进入热力循环。示例性的,熔盐-水/蒸汽换热组件28包括给水入口和吸热蒸汽出口,其中给水入口连接热力发电系统的高压给水出口;高压给水与熔盐放热回路中的熔盐换热;吸热蒸汽出口连接热力发电系统的汽轮机进口。

[0045] 此外,另外A模块与B模块组合又可以构成卡诺电池熔盐储能电站,具体为包含储能过程与释能过程。

[0046] 储能过程:当电网负荷处于波谷时段,现有机组需要通过深调进一步降低汽轮机出力,此时抽取B模块中的部分蒸汽(可以来自主蒸汽、热再蒸汽,冷再蒸汽、中压缸3排汽等)或者来自外部的大量低品位热量可以利用,进入A模块中进行存储,可保证B模块中锅炉1在较高负荷时降低B模块中汽轮机出力,实现机-炉解耦、储存热能。

[0047] 释能过程:当电网负荷处于波峰时段,现有热力发电系统机组需要快速出力顶峰时,此时抽取热力发电系统高加压出口的高压给水送入熔盐储能系统的放热回路,此时抽

取B模块中部分高压给水进入A模块,高压给水在A模块中与熔盐经过熔盐-水/蒸汽换热组件28进行换热产生高温高压的高品位蒸汽,高品位蒸汽最终进入A模块中做功,做功后的乏汽排至凝汽器7进行冷凝循环。

[0048] 在一些实施例中,熔盐储件包括低温双储罐、单罐、高低参数双组合储罐中的一种以及其附属盐泵、阀门、管道,示例性的本实施例以熔盐储件为高低参数双组合储罐进行详细描述。

[0049] 其中低参数熔盐采用温度参数为166-450℃的太阳盐,其中低参数低温熔盐的温度为166℃,低参数高温熔盐的温度为450℃;高参数熔盐采用温度参数为398-650℃的三元碳酸盐,高参数低温熔盐的温度为450℃,高参数高温熔盐的温度为600℃。

[0050] 具体如图2和图3所示,熔盐储能系统包括低参数低温盐罐19、低参数高温盐罐24、高参数低温盐罐14以及高参数高温盐罐18,低参数低温盐罐19和低参数高温盐罐24相互连通,其间设置低参数熔盐泵20,高参数低温盐罐14以及高参数高温盐罐18相互连通,其间设置高参数熔盐泵15;低参数低温盐罐19和低参数高温盐罐24之间,以及高参数低温盐罐14以及高参数高温盐罐18之间设置熔盐吸热回路和熔盐放热回路。

[0051] 其中熔盐吸热回路中包括低温段熔盐换热器16和高温段熔盐换热器,其中本实施例中的低温段熔盐换热器16可理解为熔盐-汽换热器;本实施例中的驱动热源为电能转化,则本实施例中的高温段熔盐换热器可理解为电加热器17。

[0052] 中低温热源为温度为374℃的蒸汽其输出端连接低温段熔盐换热器16的热侧,对低温段熔盐换热器16中冷侧的166℃的低温熔盐加热;本实施例中的中低温热源来自于中压缸3排汽,此时熔盐吸收大量低品位热量,加热后的熔盐经过电加热器17加热后至450℃后进入低参数高温盐罐24进行存储。其中在本实施例中电加热器17的输入端连接电网谷电,中压缸3的排汽首先进入低温段熔盐换热器16中换热后降至175℃后进入临机凝汽器7冷凝,其中低温热源蒸汽进入凝汽器7的管路上设置调节阀13。

[0053] 优选的,低参数低温盐罐19和低参数高温盐罐24之间,以及高参数低温盐罐14以及高参数高温盐罐18之间设置熔盐吸热回路并不相同,其中低参数低温盐罐19和低参数高温盐罐24之间设置熔盐吸热回路包括低温段熔盐换热器16和高温段熔盐换热器;而高参数低温盐罐14以及高参数高温盐罐18之间设置熔盐吸热回路中可只设置高温段熔盐换热器即可。即电加热器17将450℃的高参数低温熔盐加热至600℃后进入高参数高温盐罐18中储热,完成低参数熔盐储能系统的储热过程。可理解的通过电压变换可实现不同等级电压的用电需求,如380V、690V、6000V或10000V,利用厂用电可实现部分电负荷的快速调频。本实施例在总储能效率差别不大的情况下,而高参数低温盐罐14以及高参数高温盐罐18之间设置熔盐吸热回路中可只设置高温段熔盐换热器可在一定程度上简化本系统的控制复杂度。

[0054] 在一些实施例中熔盐放热回路中设置熔盐-水/蒸汽换热组件28,其中熔盐-水/蒸汽换热组件28包括至少一个熔盐-水换热器和至少一个熔盐-蒸汽换热器;熔盐-水换热器和熔盐-蒸汽换热器串联。

[0055] 示例性的如图3所示,熔盐放热回路中包括串联的熔盐预热器25和熔盐蒸汽发生器26和熔盐过热器27,熔盐预热器25的冷侧入口连接热力发电系统的高压加热器12的出口,熔盐预热器25的冷侧出口连接熔盐蒸汽发生器26的冷侧入口,熔盐蒸汽发生器26的冷侧出口连接熔盐过热器27的入口;熔盐过热器27的出口连接热力发电系统的再热蒸汽管

道。

[0056] 本实施例中熔盐放热回路的工作原理为:熔盐预热器25的冷侧入口连接高压加热器12的出口,高压给水在熔盐预热器25中吸热后继续进入熔盐蒸汽发生器26吸热生成蒸汽并通入熔盐过热器27的冷侧,同时低参数高温熔盐从低参数高温盐罐24流经熔盐蒸汽发生器26的热侧,流向熔盐预热器25的热侧,再进入低参数低温盐罐19;

[0057] 熔盐过热器27的冷侧出口连接锅炉1至中压缸3的热再蒸汽管道,蒸汽在熔盐过热器27中吸热后变为过热蒸汽进入中压缸3做功;同时熔盐过热器27的热侧进出口分别连接高参数高温盐罐18的出口和高参数低温盐罐14入口,高参数高温熔盐进入熔盐过热器27放热后进入高参数低温盐罐14。

[0058] 为证明本实施例的总储能效率,以现有热力发电系统以某670MW超临界机组在40%THA工况下进行灵活性改造,或者以某276MW超临界机组进行熔盐储能退役改造为例,其主汽参数566℃/24.2MPa,再热参数566℃/1.747MPa,再热冷段259℃/2.287MPa,未改造前机组发电量为276MW。

[0059] 低参数熔盐储能系统中采用温度参数为166-450℃的太阳盐,其中低参数低温熔盐的温度为166℃,低参数高温熔盐的温度为450℃;高参数熔盐储能系统中采用温度参数为398-650℃的三元碳酸盐,高参数低温熔盐的温度为450℃,高参数高温熔盐的温度为600℃;低温太阳盐容量配置446MW,熔盐量5235.2t,储罐直径18米,储罐高度11m;高温盐碳酸盐容量配置235MW,熔盐量2764.8t,储罐直径14米,储罐高度8米。

[0060] 储能过程:以热力发电系统的中压缸3排汽作为中低温热源(温度374℃),引入低参数熔盐储能系统,并利用高品位电能作为驱动电源,电能优先使用电网谷电。中压缸3的排汽首先进入低温段熔盐换热器16中加热低参数低温熔盐后降至175℃后进入凝汽器7冷凝,低参数低温熔盐(166℃)在熔盐-汽换热器加热后,再进入电加热器17进一步加热至450℃进入低参数高温盐罐24储热;在高参数熔盐罐中直接采用电加热加热熔盐,将高参数低温熔盐(450℃)加热至600℃后进入高参数高温盐罐18中储热。

[0061] 释能过程:从热力发电系统的给水泵11出口引出231℃给水首先在熔盐蒸汽发生器26和熔盐预热器25中吸热,吸收后给水变成饱和蒸汽进入熔盐过热器27,蒸汽在熔盐过热器27中继续吸热后变成566℃的过热蒸汽,过热蒸汽从熔盐过热器27的出口经热力发电系统的再热蒸汽管道进入中压缸3做功;熔盐侧:熔盐从高参数高温盐罐18进入熔盐过热器27盐侧放热后温度降至450℃进入高参数低温盐罐14;另一路熔盐从低参数高温盐罐24进入两级熔盐蒸汽器后回至低参数低温盐罐19,温度降至200℃左右。

[0062] 利用Thermoflex软件对该工况下的热力系统耦合熔盐储能构成的广义热泵进行模拟,通过计算可以得知充能阶段发电量165373kW,熔盐换热器总功率51954kW,储热时长6h,储热量681MW,储能阶段总发电功率622MWh,释能阶段总发电量328687kW,熔盐换热器总功率160114kW,发电时长4.2h,系统总储能效率68.3%。

[0063]

	充能	释能
给水温度℃	256.7	231.4

[0064]	主蒸汽温度℃	566	566
	主蒸汽压力 MPa	24.196	24.2
	再热蒸汽温度℃	566	566
	再热蒸汽压力 MPa	1.756	2.287
	再热冷段温度℃	250.9	289.6
	再热冷段压力 MPa	1.756	2.287
	发电量 kW	165373	328687
	电加热功率 kW	61612	0
	高参数熔盐换热器功率 kW	/	/
	高低参数熔盐换热器功率 kW	/	/
	熔盐换热器总功率 kW	51954	160114
	储热时长 h	6	4.255693
	高温盐量 MWh	/	/
	低熔点盐 MWh	/	/
	储热量 MWh	681	681.396
	储能阶段总发电功率 MWh	622	1398.791
	总储能效率%		68.3

[0065] 需要说明的是,在本发明的描述中,术语“第一”、“第二”等仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。此外,在本发明的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个以上。

[0066] 流程图中或在此以其他方式描述的任何过程或方法描述可以被理解为,表示包括一个或更多个用于实现特定逻辑功能或过程的步骤的可执行指令的代码的模块、片段或部分,并且本发明的优选实施方式的范围包括另外的实现,其中可以不按所示出或讨论的顺序,包括根据所涉及的功能按基本同时的方式或按相反的顺序,来执行功能,这应被本发明的实施例所属技术领域的技术人员所理解。

[0067] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

[0068] 尽管上面已经示出和描述了本发明的实施例,可以理解的是,上述实施例是示例性的,不能理解为对本发明的限制,本领域的普通技术人员在本发明的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

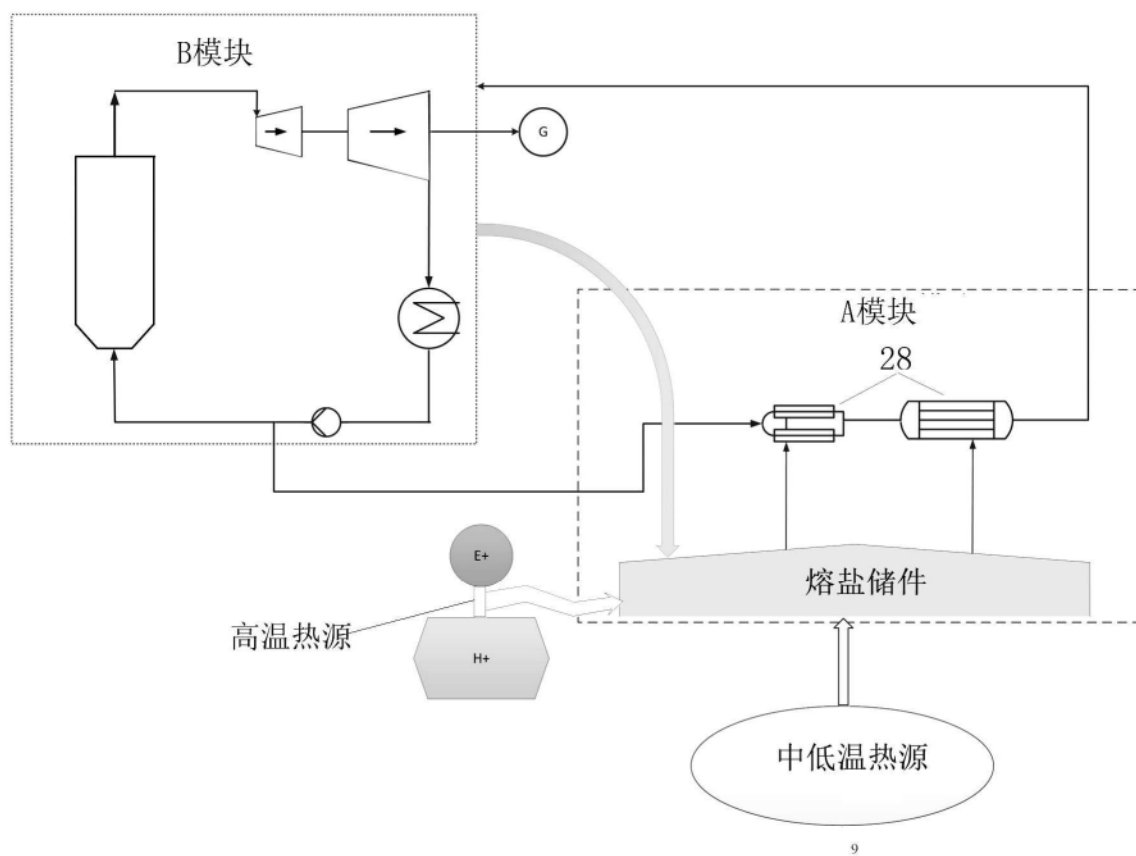


图1

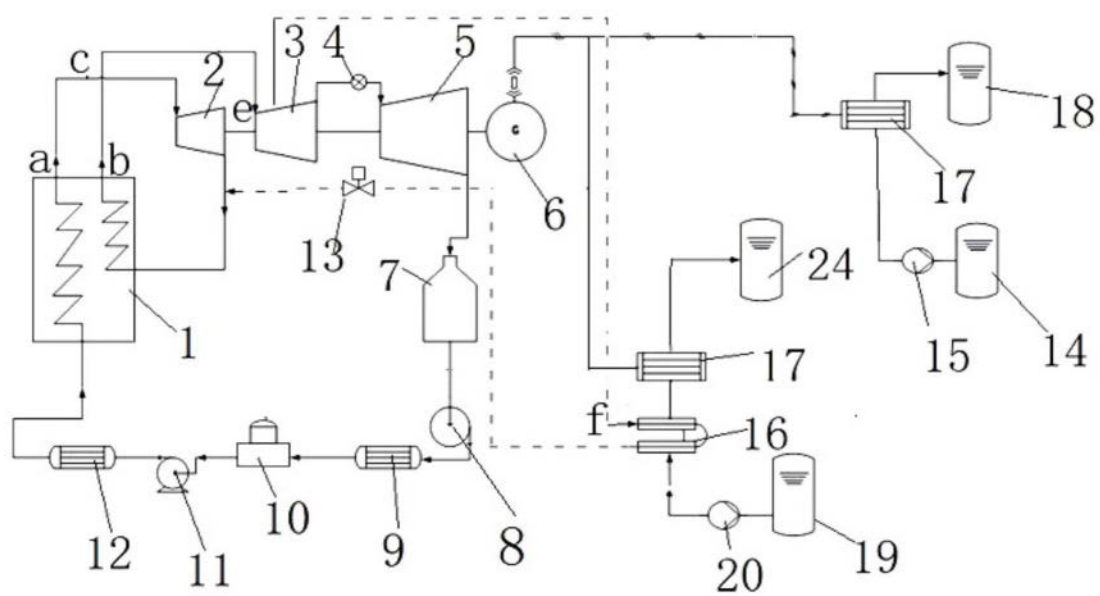


图2

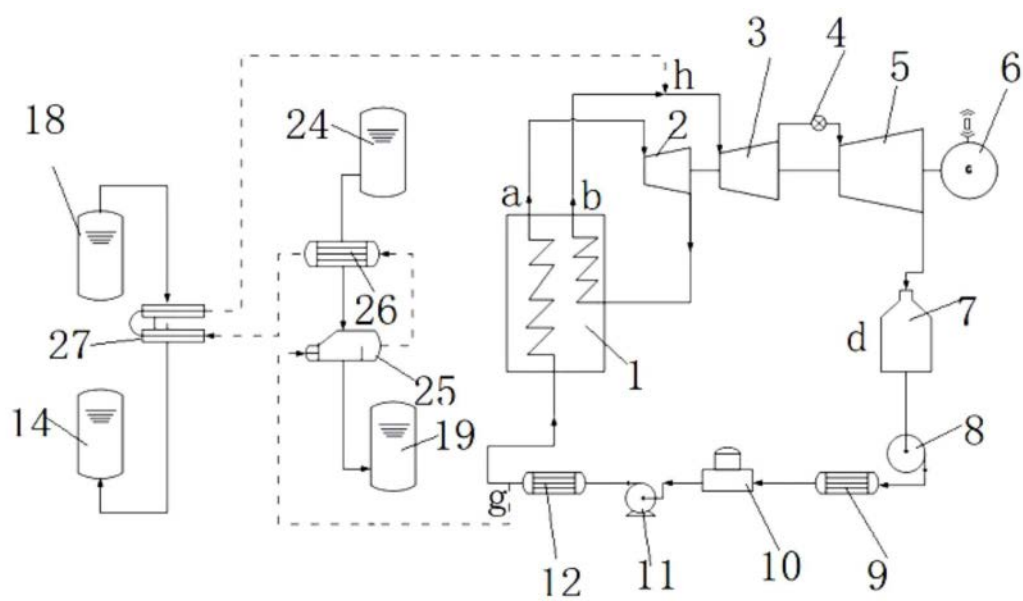


图3