



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118746114 A

(43) 申请公布日 2024. 10. 08

(21) 申请号 202410839902.8

(22) 申请日 2024.06.26

(71) 申请人 陕西华电榆横煤电有限责任公司榆横发电厂

地址 719000 陕西省榆林市横山区白界乡马扎梁村

申请人 华电电力科学研究院有限公司

(72) 发明人 解小军 高新勇 张欢 李亚奎 吴畅 李亭 马文利 郑立军 贾鹏辉 冯亦武 杨凡 鞠浩然

(74) 专利代理机构 杭州天欣专利事务所(普通合伙) 33209

专利代理师 李浩楠

(51) Int. Cl.

F22B 1/02 (2006.01)

F22B 1/28 (2006.01)

F22B 31/08 (2006.01)

F22B 33/18 (2006.01)

F01K 3/00 (2006.01)

F01K 3/26 (2006.01)

F01K 3/18 (2006.01)

F01K 11/02 (2006.01)

F01K 7/44 (2006.01)

F01K 7/40 (2006.01)

F01K 13/02 (2006.01)

F01K 17/02 (2006.01)

F01D 15/10 (2006.01)

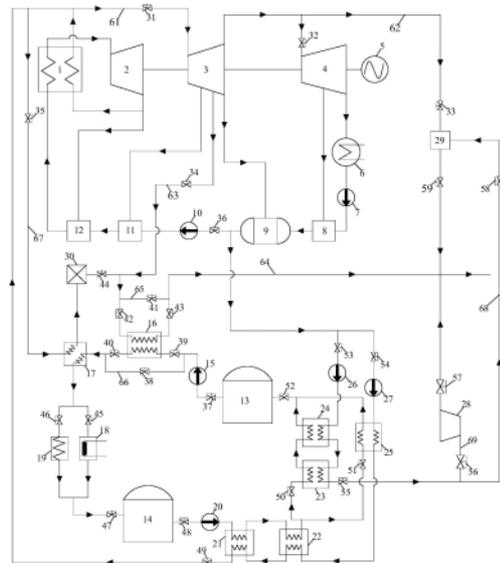
权利要求书4页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统及调节方法

(57) 摘要

本发明公开了一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统及调节方法,系统包括电站锅炉、汽轮机组、熔盐储热装置和低压工业供汽装置,熔盐储热装置包括低温熔盐储罐、高温熔盐储罐、熔盐储换热件和熔盐放换热件,低压工业供汽装置包括储热供汽机构和放热供汽机构,当系统降负荷调峰时,熔盐储热机构利用工业抽汽、热再蒸汽、高温烟气和电能梯级加热熔盐储热,然后蒸汽再用于储热供汽机构对外供热,当系统升负荷调峰时,熔盐放热机构对高温熔盐二级降温换热放热,一是产生高压蒸汽用于汽轮机组发电,二是产生中压蒸汽用于放热供汽机构对外供热。本发明通过合理设计多级储放热工艺及其与供汽流程的高效集成,有效提升了系统调峰能效和供汽灵活性。



1. 一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统,包括:电站锅炉和汽轮机组,所述电站锅炉内沿着烟气流动方向依次布置有过热器和再热器,所述汽轮机组包括高压缸、中压缸、低压缸、发电机、凝汽器、凝结水泵、低压回热器、除氧器、锅炉给水泵、中压回热器和高压回热器,所述高压缸的进汽口与过热器的出汽口连接,所述高压缸的排汽口与再热器的进汽口连接,所述中压缸的进汽口通过热再蒸汽管与再热器的出汽口连接,且在热再蒸汽管上安装有调节阀门,所述中压缸的排汽口与低压缸的进汽口连接,且在低压缸的进汽口安装有调节阀门,所述低压缸的排汽口与凝汽器的乏汽进口连接,所述高压缸、中压缸和低压缸同轴连接并驱动发电机做功发电,所述凝汽器的凝结水出口通过凝结水泵与低压回热器的给水进口连接,所述低压回热器、除氧器、锅炉给水泵、中压回热器和高压回热器的给水侧沿着水流动方向依次连接,所述锅炉给水泵的给水进口安装有调节阀门,所述高压回热器的给水出口与电站锅炉的给水进口连接,所述高压缸为高压回热器提供所需蒸汽,所述中压缸为中压回热器和除氧器提供所需蒸汽,所述低压缸为低压回热器提供所需蒸汽;

其特征在于,还包括:熔盐储热装置和低压工业供汽装置,所述熔盐储热装置包括低温熔盐储罐、高温熔盐储罐、熔盐储换热件和熔盐放换热件,所述低压工业供汽装置包括储热供汽机构、放热供汽机构和低压工业供汽母管,所述熔盐储换热件属于熔盐侧三级串联连接结构,所述低温熔盐储罐的熔盐出口与熔盐储换热件第一级结构的熔盐进口连接,所述高温熔盐储罐的熔盐进口与熔盐储换热件第三级结构的熔盐出口连接,所述熔盐储换热件第二级结构的蒸汽进口通过高压蒸汽支管与再热器的出汽口连接,所述熔盐储换热件第二级结构的蒸汽出口与储热供汽机构的蒸汽进口连接,所述储热供汽机构的蒸汽进口还与中压缸的抽汽口连接,所述熔盐储换热件第一级结构的蒸汽进口与储热供汽机构的蒸汽出口连接,所述熔盐储换热件第一级结构的蒸汽出口与低压工业供汽母管的进汽端连接,所述熔盐放换热件属于熔盐侧两级串联连接结构,所述高温熔盐储罐的熔盐出口与熔盐放换热件第一级结构的熔盐进口连接,所述熔盐放换热件第二级结构的熔盐出口与低温熔盐储罐的熔盐进口连接,所述熔盐放换热件第一级结构的给水进口与除氧器的给水出口连接,所述熔盐放换热件第一级结构的给水出口与熔盐放换热件第二级结构的给水进口连接,所述熔盐放换热件第一级结构的蒸汽出口与放热供汽机构的蒸汽进口连接,所述放热供汽机构的蒸汽进口还与中压缸的排汽口连接,所述放热供汽机构的蒸汽出口与低压工业供汽母管的进汽端连接,所述熔盐放换热件第二级结构的蒸汽出口还通过热再蒸汽管与中压缸的进汽口连接;

所述熔盐储换热件第一级结构利用低压蒸汽加热低温熔盐,所述熔盐储换热件第二级结构利用高压蒸汽加热低温熔盐,所述熔盐储换热件第三级结构同时利用高温烟气和电能加热低温熔盐;所述熔盐放换热件第一级结构利用高温熔盐生产高压蒸汽,所述熔盐放换热件第二级结构利用高温熔盐对给水进行加热和生产中压蒸汽;

所述熔盐储换热件的熔盐管路内介质与蒸汽管路内介质的流向相反,所述熔盐放换热件的熔盐管路内介质均与蒸汽管路内介质和给水管路内介质的流向相反。

2. 根据权利要求1所述的一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统,其特征在于,所述熔盐储换热件包括低温熔盐泵、低压蒸汽冷却换热器、高压蒸汽冷却换热器、熔盐电加热器和高温烟气熔盐换热器,所述熔盐储换热件第一级结构包括低压蒸汽冷却换热

器,所述熔盐储换热件第二级结构包括高压蒸汽冷却换热器,所述熔盐储换热件第三级结构包括熔盐电加热器和高温烟气熔盐换热器,所述熔盐电加热器和高温烟气熔盐换热器的熔盐侧并联连接;

所述低温熔盐泵设置在低温熔盐储罐的熔盐出口,且在低温熔盐储罐的熔盐出口安装有调节阀门,所述低温熔盐储罐的熔盐出口与低压蒸汽冷却换热器的熔盐进口连接,所述低压蒸汽冷却换热器的熔盐出口与高压蒸汽冷却换热器的熔盐进口连接,所述高压蒸汽冷却换热器的熔盐出口同时与熔盐电加热器和高温烟气熔盐换热器的熔盐进口连接,且在熔盐电加热器和高温烟气熔盐换热器的熔盐进口均安装有调节阀门,所述熔盐电加热器和高温烟气熔盐换热器的熔盐出口同时与高温熔盐储罐的熔盐进口连接,且在高温熔盐储罐的熔盐进口安装有调节阀门,所述低压蒸汽冷却换热器的熔盐侧设置有熔盐旁路管,且在熔盐旁路管、低压蒸汽冷却换热器的熔盐进口和熔盐出口均安装有调节阀门;

所述高压蒸汽冷却换热器的蒸汽进口通过高压蒸汽支管与再热器的出汽口连接,且在高压蒸汽支管上安装有调节阀门,所述高压蒸汽冷却换热器的蒸汽出口与储热供汽机构的蒸汽进口连接,所述储热供汽机构的蒸汽出口与低压蒸汽冷却换热器的蒸汽进口连接,所述低压蒸汽冷却换热器的蒸汽出口与低压工业供汽母管的进汽端连接,所述低压蒸汽冷却换热器的蒸汽侧设置有蒸汽旁路管,且在蒸汽旁路管、低压蒸汽冷却换热器的蒸汽进口和蒸汽出口均安装有调节阀门,所述高温烟气熔盐换热器布置在电站锅炉的过热器与再热器之间,所述熔盐电加热器用于加热低温熔盐的电来自于发电机。

3. 根据权利要求1所述的一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统,其特征在于,所述熔盐放换热件包括高温熔盐泵、高压蒸汽过热器、高压蒸汽发生器、中压蒸汽过热器、中压蒸汽发生器、给水过热器、一号给水泵和二号给水泵,所述熔盐放换热件第一级结构包括高压蒸汽过热器和高压蒸汽发生器,所述熔盐放换热件第二级结构包括中压蒸汽过热器、中压蒸汽发生器和给水过热器,所述高压蒸汽过热器和高压蒸汽发生器的熔盐侧串联连接,所述中压蒸汽过热器和中压蒸汽发生器的熔盐侧串联连接,所述中压蒸汽过热器或中压蒸汽发生器和给水过热器的熔盐侧并联连接;

所述高温熔盐泵设置在高温熔盐储罐的熔盐出口,且在高温熔盐储罐的熔盐出口安装有调节阀门,所述高温熔盐储罐的熔盐出口与高压蒸汽过热器的熔盐进口连接,所述高压蒸汽过热器的熔盐出口与高压蒸汽发生器的熔盐进口连接,所述高压蒸汽发生器的熔盐出口同时与中压蒸汽过热器和给水过热器的熔盐进口连接,且在中压蒸汽过热器和给水过热器的熔盐进口均安装有调节阀门,所述中压蒸汽过热器的熔盐出口与中压蒸汽发生器的熔盐进口连接,所述中压蒸汽发生器和给水过热器的熔盐出口同时与低温熔盐储罐的熔盐进口连接,且在低温熔盐储罐的熔盐进口安装有调节阀门;

所述中压蒸汽发生器和给水过热器的给水进口同时与除氧器的给水出口连接,且在中压蒸汽发生器的给水进口安装有一号给水泵和调节阀门,在给水过热器的给水进口安装有二号给水泵和调节阀门,所述中压蒸汽发生器的蒸汽出口与中压蒸汽过热器的蒸汽进口连接,所述中压蒸汽过热器的蒸汽出口与放热供汽机构的蒸汽进口连接,且在中压蒸汽过热器的蒸汽出口安装有调节阀门,所述给水过热器的给水出口与高压蒸汽发生器的给水进口连接,所述高压蒸汽发生器的蒸汽出口与高压蒸汽过热器的蒸汽进口连接,所述高压蒸汽过热器的蒸汽出口还通过热再蒸汽管与中压缸的进汽口连接,且在高压蒸汽过热器的蒸汽

出口安装有调节阀门。

4. 根据权利要求1所述的一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统,其特征在于,所述储热供汽机构包括蒸汽减压装置和工业抽汽管,所述高压蒸汽冷却换热器的蒸汽出口与蒸汽减压装置的蒸汽进口连接,所述蒸汽减压装置的蒸汽出口与低压蒸汽冷却换热器的蒸汽进口连接,且在蒸汽减压装置的蒸汽出口安装有调节阀门,所述工业抽汽管的进汽端和出汽端分别与中压缸的抽汽口和低压蒸汽冷却换热器的蒸汽进口连接,且在工业抽汽管上安装有调节阀门。

5. 根据权利要求1所述的一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统,其特征在于,所述放热供汽机构包括背压机、蒸汽压力匹配器和低压抽汽管,所述背压机的进汽口通过第二蒸汽支管与中压蒸汽过热器的蒸汽出口连接,且在第二蒸汽支管上安装有调节阀门,所述背压机的排汽口与低压工业供汽母管的进汽端连接,且在背压机的排汽口安装有调节阀门,所述蒸汽压力匹配器的高压蒸汽进口通过第一蒸汽支管与中压蒸汽过热器的蒸汽出口连接,且在第一蒸汽支管上安装有调节阀门,所述蒸汽压力匹配器的低压蒸汽进口通过低压抽汽管与中压缸的排汽口连接,且在低压抽汽管上安装有调节阀门,所述蒸汽压力匹配器的中压蒸汽出口与低压工业供汽母管的进汽端连接,且在蒸汽压力匹配器的中压蒸汽出口安装有调节阀门。

6. 一种如权利要求1至5中任一项所述的一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统的调节方法,其特征在于,调节方法如下:

当所述系统降电负荷调峰时,则利用熔盐储换热件进行储热和利用储热供汽机构对外供热,此时:

打开并调节相对应的阀门,低温熔盐储罐输出的低温熔盐依次进入低压蒸汽冷却换热器、高压蒸汽冷却换热器被低压蒸汽、高压蒸汽梯级加热后分两路输出,分别进入高温烟气熔盐换热器和熔盐电加热器同时被高温烟气和电能第三次加热后再输出汇合,并输送至高温熔盐罐进行储热;

来自再热器的热再蒸汽经过高压蒸汽冷却换热器与低温熔盐进行换热降温后,输送至蒸汽减压装置进行减压,然后与来自中压缸的工业抽汽汇合后,输送至低压蒸汽冷却换热器与低温熔盐进行换热降温,最后经由低压工业供汽母管对外输出供汽;

当所述系统升电负荷调峰时,则利用熔盐放换热件进行放热和利用放热供汽机构对外供热,此时:

打开并调节相对应的阀门,高温熔盐储罐输出的高温熔盐依次进入高压蒸汽过热器、高压蒸汽发生器被第一次冷却降温后,然后分两路分别输送至中压蒸汽过热器和给水过热器进行冷却降温,中压蒸汽过热器输出的高温熔盐再进入中压蒸汽发生器进行冷却降温,经给水过热器和中压蒸汽发生器冷却降温后的高温熔盐输出汇合后,最后输送至低温熔盐储罐进行放热;

来自除氧器的给水分两路,一路给水经一号给水泵升压后进入中压蒸汽发生器被加热后形成饱和蒸汽,另一路给水经二号给水泵升压后进入给水过热器被加热后形成高温给水,中压蒸汽发生器输出的饱和蒸汽进入中压蒸汽过热器被加热后形成过热蒸汽,然后分两路输出,一路过热蒸汽经第二蒸汽支管输送至背压机做功后形成低压蒸汽,再通过低压工业供汽母管对外输出供汽,另一路过热蒸汽经第一蒸汽支管输送至蒸汽压力匹配器,与

来自中压缸的排汽进行压力匹配后形成低压蒸汽,然后通过低压工业供汽母管对外输出供汽,给水过热器输出的高温给水直接进入高压蒸汽发生器被加热后形成高压饱和蒸汽,然后输送至高压蒸汽过热器被再次加热后形成高压过热蒸汽,最后经热再蒸汽管依次进入中压缸、低压缸进行做功发电。

7. 根据权利要求6所述的一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统的调节方法,其特征在于,当所述系统降电负荷调峰时,优先利用蒸汽加热低温熔盐,其次利用高温烟气加热低温熔盐,最后利用电能加热低温熔盐,在满足外界供汽需求和系统电力调峰要求的同时,提升系统降电负荷调峰时的能源利用效率。

8. 根据权利要求7所述的一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统的调节方法,其特征在于,在所述系统降电负荷调峰的过程中,同时需要提升电负荷响应速率进行调频时,则优先通过增加熔盐电加热器的电加热功率来满足调频需求,其次通过增加高压蒸汽冷却换热器的高压蒸汽换热功率来满足调频需求。

9. 根据权利要求6所述的一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统的调节方法,其特征在于,当所述系统升电负荷调峰时,优先利用背压机做功后输出的排汽对外供热,其次利用蒸汽压力匹配器输出的低压蒸汽对外供热。

热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统及调节方法

技术领域

[0001] 本发明属于火电机组热电解耦技术领域,具体涉及一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统及调节方法,尤其适用于工业供热的热电联产机组。

背景技术

[0002] 目前,电网中灵活性调节电源的占比较低,致使高比例新能源电力接入电网而导致了严重的“弃风弃光”现象。因此,提升电网中灵活性调节电源的占比,以提升电网消纳新能源电力的能力,则迫在眉睫。当前,采暖供热机组由于供热的水热品位低,热水储热等成熟的低成本技术可广泛用于该类型机组的火电灵活性改造。然而,工业供热机组由于供热的蒸汽品位较高,高温固体蓄热、蒸汽蓄热等技术尚处于试应用阶段,且成本普遍较高;熔盐储热技术已在光热发电系统应用十余年,该技术相对较成熟,是用于工业供热机组灵活性改造的最佳储能技术,凭借其长周期、大容量、低成本等优势,可在更长时间维度上调节新能源发电波动,真正实现电网的“削峰填谷”。

[0003] 目前,火电机组利用熔盐储热进行电力调峰的相关技术主要包括:(1)电站锅炉高温烟气耦合再热蒸汽储热深度调峰系统及方法(专利申请号202010917835.9),其不足之处是在储热时直接利用高温烟气与高参数蒸汽直接加热低温熔盐储能,在放热时直接利用高温熔盐生产高温热水用于供暖,在储热与放热过程的换热温差均过大,所造成的做功能力损失十分严重;(2)一种用于燃机热电联产机组的热电解耦系统及方法(专利申请号202010179524.7),其不足之处是在储热时仅利用高温烟气加热熔盐,换热温差过大,而在放热时利用高温熔盐生产供热用的低参数蒸汽,未有效利用高温熔盐的高品位能量,整个储放热过程均属于利用高品位能生产低品位能,造成的做功能力损失严重;(3)基于电加热储热技术大幅提高工业供汽可靠性的系统(专利申请号202110686591.2),其不足之处是在储热时利用高品位电能直接加热低温熔盐储能来实现机组降负荷调峰,储热过程高品位电能损失大,在放热时利用高温熔盐直接加热给水产生低品位工业蒸汽来替代机组抽汽进行升负荷调峰,放热过程换热温差过大,产生严重的不可逆损失,由此造成储热系统储放热过程的整体能源利用效率低下。

发明内容

[0004] 基于上述情况,本发明克服现有技术中存在的上述不足,提出了一种设计合理、性能可靠的热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统及调节方法,通过合理设计多级熔盐储放热工艺及进行熔盐储放热与工业供汽流程的高效集成,实现不同品位能量的梯级高效利用,提升了热电联产耦合熔盐储热调峰的运行灵活性和高效性。

[0005] 为实现上述目的,本发明所采用的技术方案是:一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统,包括:电站锅炉和汽轮机组,所述电站锅炉内沿着烟气流动方向依次布置有过热器和再热器,所述汽轮机组包括高压缸、中压缸、低压缸、发电机、凝汽器、凝结水泵、低压回热器、除氧器、锅炉给水泵、中压回热器和高压回热器,所述高压缸的进汽口与过热

器的出汽口连接,所述高压缸的排汽口与再热器的进汽口连接,所述中压缸的进汽口通过热再蒸汽管与再热器的出汽口连接,且在热再蒸汽管上安装有调节阀门,所述中压缸的排汽口与低压缸的进汽口连接,且在低压缸的进汽口安装有调节阀门,所述低压缸的排汽口与凝汽器的乏汽进口连接,所述高压缸、中压缸和低压缸同轴连接并驱动发电机做功发电,所述凝汽器的凝结水出口通过凝结水泵与低压回热器的给水进口连接,所述低压回热器、除氧器、锅炉给水泵、中压回热器和高压回热器的给水侧沿着水流动方向依次连接,所述锅炉给水泵的给水进口安装有调节阀门,所述高压回热器的给水出口与电站锅炉的给水进口连接,所述高压缸为高压回热器提供所需蒸汽,所述中压缸为中压回热器和除氧器提供所需蒸汽,所述低压缸为低压回热器提供所需蒸汽;

还包括:熔盐储热装置和低压工业供汽装置,所述熔盐储热装置包括低温熔盐储罐、高温熔盐储罐、熔盐储换热件和熔盐放换热件,所述低压工业供汽装置包括储热供汽机构、放热供汽机构和低压工业供汽母管,所述熔盐储换热件属于熔盐侧三级串联连接结构,所述低温熔盐储罐的熔盐出口与熔盐储换热件第一级结构的熔盐进口连接,所述高温熔盐储罐的熔盐进口与熔盐储换热件第三级结构的熔盐出口连接,所述熔盐储换热件第二级结构的蒸汽进口通过高压蒸汽支管与再热器的出汽口连接,所述熔盐储换热件第二级结构的蒸汽出口与储热供汽机构的蒸汽进口连接,所述储热供汽机构的蒸汽进口还与中压缸的抽汽口连接,所述熔盐储换热件第一级结构的蒸汽进口与储热供汽机构的蒸汽出口连接,所述熔盐储换热件第一级结构的蒸汽出口与低压工业供汽母管的进汽端连接,所述熔盐放换热件属于熔盐侧两级串联连接结构,所述高温熔盐储罐的熔盐出口与熔盐放换热件第一级结构的熔盐进口连接,所述熔盐放换热件第二级结构的熔盐出口与低温熔盐储罐的熔盐进口连接,所述熔盐放换热件第一级结构的给水进口与除氧器的给水出口连接,所述熔盐放换热件第一级结构的给水出口与熔盐放换热件第二级结构的给水进口连接,所述熔盐放换热件第一级结构的蒸汽出口与放热供汽机构的蒸汽进口连接,所述放热供汽机构的蒸汽进口还与中压缸的排汽口连接,所述放热供汽机构的蒸汽出口与低压工业供汽母管的进汽端连接,所述熔盐放换热件第二级结构的蒸汽出口还通过热再蒸汽管与中压缸的进汽口连接;

所述熔盐储换热件第一级结构利用低压蒸汽加热低温熔盐,所述熔盐储换热件第二级结构利用高压蒸汽加热低温熔盐,所述熔盐储换热件第三级结构同时利用高温烟气和电能加热低温熔盐;所述熔盐放换热件第一级结构利用高温熔盐生产高压蒸汽,所述熔盐放换热件第二级结构利用高温熔盐对给水进行加热和生产中压蒸汽;

所述熔盐储换热件的熔盐管路内介质与蒸汽管路内介质的流向相反,所述熔盐放换热件的熔盐管路内介质均与蒸汽管路内介质和给水管路内介质的流向相反。

[0006] 作为优选,所述熔盐储换热件包括低温熔盐泵、低压蒸汽冷却换热器、高压蒸汽冷却换热器、熔盐电加热器和高温烟气熔盐换热器,所述熔盐储换热件第一级结构包括低压蒸汽冷却换热器,所述熔盐储换热件第二级结构包括高压蒸汽冷却换热器,所述熔盐储换热件第三级结构包括熔盐电加热器和高温烟气熔盐换热器,所述熔盐电加热器和高温烟气熔盐换热器的熔盐侧并联连接;

所述低温熔盐泵设置在低温熔盐储罐的熔盐出口,且在低温熔盐储罐的熔盐出口安装有调节阀门,所述低温熔盐储罐的熔盐出口与低压蒸汽冷却换热器的熔盐进口连接,

所述低压蒸汽冷却换热器的熔盐出口与高压蒸汽冷却换热器的熔盐进口连接,所述高压蒸汽冷却换热器的熔盐出口同时与熔盐电加热器和高温烟气熔盐换热器的熔盐进口连接,且在熔盐电加热器和高温烟气熔盐换热器的熔盐进口均安装有调节阀门,所述熔盐电加热器和高温烟气熔盐换热器的熔盐出口同时与高温熔盐储罐的熔盐进口连接,且在高温熔盐储罐的熔盐进口安装有调节阀门,所述低压蒸汽冷却换热器的熔盐侧设置有熔盐旁路管,且在熔盐旁路管、低压蒸汽冷却换热器的熔盐进口和熔盐出口均安装有调节阀门;

所述高压蒸汽冷却换热器的蒸汽进口通过高压蒸汽支管与再热器的出汽口连接,且在高压蒸汽支管上安装有调节阀门,所述高压蒸汽冷却换热器的蒸汽出口与储热供汽机构的蒸汽进口连接,所述储热供汽机构的蒸汽出口与低压蒸汽冷却换热器的蒸汽进口连接,所述低压蒸汽冷却换热器的蒸汽出口与低压工业供汽母管的进汽端连接,所述低压蒸汽冷却换热器的蒸汽侧设置有蒸汽旁路管,且在蒸汽旁路管、低压蒸汽冷却换热器的蒸汽进口和蒸汽出口均安装有调节阀门,所述高温烟气熔盐换热器布置在电站锅炉的过热器与再热器之间,所述熔盐电加热器用于加热低温熔盐的电来自于发电机。

[0007] 作为优选,所述熔盐放换热件包括高温熔盐泵、高压蒸汽过热器、高压蒸汽发生器、中压蒸汽过热器、中压蒸汽发生器、给水过热器、一号给水泵和二号给水泵,所述熔盐放换热件第一级结构包括高压蒸汽过热器和高压蒸汽发生器,所述熔盐放换热件第二级结构包括中压蒸汽过热器、中压蒸汽发生器和给水过热器,所述高压蒸汽过热器和高压蒸汽发生器的熔盐侧串联连接,所述中压蒸汽过热器和中压蒸汽发生器的熔盐侧串联连接,所述中压蒸汽过热器或中压蒸汽发生器和给水过热器的熔盐侧并联连接;

所述高温熔盐泵设置在高温熔盐储罐的熔盐出口,且在高温熔盐储罐的熔盐出口安装有调节阀门,所述高温熔盐储罐的熔盐出口与高压蒸汽过热器的熔盐进口连接,所述高压蒸汽过热器的熔盐出口与高压蒸汽发生器的熔盐进口连接,所述高压蒸汽发生器的熔盐出口同时与中压蒸汽过热器和给水过热器的熔盐进口连接,且在中压蒸汽过热器和给水过热器的熔盐进口均安装有调节阀门,所述中压蒸汽过热器的熔盐出口与中压蒸汽发生器的熔盐进口连接,所述中压蒸汽发生器和给水过热器的熔盐出口同时与低温熔盐储罐的熔盐进口连接,且在低温熔盐储罐的熔盐进口安装有调节阀门;

所述中压蒸汽发生器和给水过热器的给水进口同时与除氧器的给水出口连接,且在中压蒸汽发生器的给水进口安装有一号给水泵和调节阀门,在给水过热器的给水进口安装有二号给水泵和调节阀门,所述中压蒸汽发生器的蒸汽出口与中压蒸汽过热器的蒸汽进口连接,所述中压蒸汽过热器的蒸汽出口与放热供汽机构的蒸汽进口连接,且在中压蒸汽过热器的蒸汽出口安装有调节阀门,所述给水过热器的给水出口与高压蒸汽发生器的给水进口连接,所述高压蒸汽发生器的蒸汽出口与高压蒸汽过热器的蒸汽进口连接,所述高压蒸汽过热器的蒸汽出口还通过热再蒸汽管与中压缸的进汽口连接,且在高压蒸汽过热器的蒸汽出口安装有调节阀门。

[0008] 作为优选,所述储热供汽机构包括蒸汽减压装置和工业抽汽管,所述高压蒸汽冷却换热器的蒸汽出口与蒸汽减压装置的蒸汽进口连接,所述蒸汽减压装置的蒸汽出口与低压蒸汽冷却换热器的蒸汽进口连接,且在蒸汽减压装置的蒸汽出口安装有调节阀门,所述工业抽汽管的进汽端和出汽端分别与中压缸的抽汽口和低压蒸汽冷却换热器的蒸汽进口连接,且在工业抽汽管上安装有调节阀门。

[0009] 作为优选,所述放热供汽机构包括背压机、蒸汽压力匹配器和低压抽汽管,所述背压机的进汽口通过第二蒸汽支管与中压蒸汽过热器的蒸汽出口连接,且在第二蒸汽支管上安装有调节阀门,所述背压机的排汽口与低压工业供汽母管的进汽端连接,且在背压机的排汽口安装有调节阀门,所述蒸汽压力匹配器的高压蒸汽进口通过第一蒸汽支管与中压蒸汽过热器的蒸汽出口连接,且在第一蒸汽支管上安装有调节阀门,所述蒸汽压力匹配器的低压蒸汽进口通过低压抽汽管与中压缸的排汽口连接,且在低压抽汽管上安装有调节阀门,所述蒸汽压力匹配器的中压蒸汽出口与低压工业供汽母管的进汽端连接,且在蒸汽压力匹配器的中压蒸汽出口安装有调节阀门。

[0010] 本发明还提供了一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统的调节方法,具体如下:

当所述系统降电负荷调峰时,则利用熔盐储换热件进行储热和利用储热供汽机构对外供热,此时:

打开并调节相对应的阀门,低温熔盐储罐输出的低温熔盐依次进入低压蒸汽冷却换热器、高压蒸汽冷却换热器被低压蒸汽、高压蒸汽梯级加热后分两路输出,分别进入高温烟气熔盐换热器和熔盐电加热器同时被高温烟气和电能第三次加热后再输出汇合,并输送至高温熔盐罐进行储热;

来自再热器的热再蒸汽经过高压蒸汽冷却换热器与低温熔盐进行换热降温后,输送至蒸汽减压装置进行减压,然后与来自中压缸的工业抽汽汇合后,输送至低压蒸汽冷却换热器与低温熔盐进行换热降温,最后经由低压工业供汽母管对外输出供汽。

[0011] 当所述系统升电负荷调峰时,则利用熔盐放换热件进行放热和利用放热供汽机构对外供热,此时:

打开并调节相对应的阀门,高温熔盐储罐输出的高温熔盐依次进入高压蒸汽过热器、高压蒸汽发生器被第一次冷却降温后,然后分两路分别输送至中压蒸汽过热器和给水过热器进行冷却降温,中压蒸汽过热器输出的高温熔盐再进入中压蒸汽发生器进行冷却降温,经给水过热器和中压蒸汽发生器冷却降温后的高温熔盐输出汇合后,最后输送至低温熔盐储罐进行放热;

来自除氧器的给水分两路,一路给水经一号给水泵升压后进入中压蒸汽发生器被加热后形成饱和蒸汽,另一路给水经二号给水泵升压后进入给水过热器被加热后形成高温给水,中压蒸汽发生器输出的饱和蒸汽进入中压蒸汽过热器被加热后形成过热蒸汽,然后分两路输出,一路过热蒸汽经第二蒸汽支管输送至背压机做功后形成低压蒸汽,再通过低压工业供汽母管对外输出供汽,另一路过热蒸汽经第一蒸汽支管输送至蒸汽压力匹配器,与来自中压缸的排汽进行压力匹配后形成低压蒸汽,然后也通过低压工业供汽母管对外输出供汽,给水过热器输出的高温给水直接进入高压蒸汽发生器被加热后形成高压饱和蒸汽,然后输送至高压蒸汽过热器被再次加热后形成高压过热蒸汽,最后经热再蒸汽管依次进入中压缸、低压缸进行做功发电。

[0012] 作为优选,当所述系统降电负荷调峰时,优先利用蒸汽加热低温熔盐,其次利用高温烟气加热低温熔盐,最后利用电能加热低温熔盐,在满足外界供汽需求和系统电力调峰要求的同时,提升系统降电负荷调峰时的能源利用效率。

[0013] 作为优选,在所述系统降电负荷调峰的过程中,同时需要提升电负荷响应速率进

行调频时,则优先通过增加熔盐电加热器的电加热功率来满足调频需求,其次通过增加高压蒸汽冷却换热器的高压蒸汽换热功率来满足调频需求。

[0014] 作为优选,当所述系统升电负荷调峰时,优先利用背压机做功后输出的排汽对外供热,其次利用蒸汽压力匹配器输出的低压蒸汽对外供热。

[0015] 本发明与现有技术相比,具有的优点和效果包括:一是通过合理设计低温熔盐三级升温换热的熔盐储热工艺及其与供汽流程的高效集成,既保证了热电机组降负荷调峰的能力,还通过梯级加热熔盐减少换热温差和利用与熔盐换热后的蒸汽对外供热,极大降低了熔盐储热过程的高品位能做功能力损失,增加了熔盐储热过程的能源利用效率,解决了蒸汽加热熔盐后低品位蒸汽无法有效利用的难题;二是通过合理设计高温熔盐二级冷却换热的熔盐放热工艺及其与供汽流程的高效集成,既通过高温熔盐的梯级换热来减少温差,降低了熔盐放热过程的高品位能做功能力损失,增加了熔盐放热过程的能源利用效率,还通过产生不同参数的蒸汽,通过高参数蒸汽用于汽轮机组发电和低参数蒸汽用于替代汽轮机组供热,在保证能效的同时,有效增加了热电机组升负荷调峰的调峰容量和响应速率。

附图说明

[0016] 图1是本发明实施例中一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统的结构示意图。

[0017] 图2是本发明实施例中涉及的电站锅炉的结构示意图。

[0018] 图中:1-电站锅炉,1001-过热器,1002-再热器,2-高压缸,3-中压缸,4-低压缸,5-发电机,6-凝汽器,7-凝结水泵,8-低压回热器,9-除氧器,10-锅炉给水泵,11-中压回热器,12-高压回热器,13-低温熔盐储罐,14-高温熔盐储罐,15-低温熔盐泵,16-低压蒸汽冷却换热器,17-高压蒸汽冷却换热器,18-熔盐电加热器,19-高温烟气熔盐换热器,20-高温熔盐泵,21-高压蒸汽过热器,22-高压蒸汽发生器,23-中压蒸汽过热器,24-中压蒸汽发生器,25-给水过热器,26-一号给水泵,27-二号给水泵,28-背压机,29-蒸汽压力匹配器,30-蒸汽减压装置,31-一号阀门,32-二号阀门,33-三号阀门,34-四号阀门,35-五号阀门,36-六号阀门,37-七号阀门,38-八号阀门,39-九号阀门,40-十号阀门,41-十一号阀门,42-十二号阀门,43-十三号阀门,44-十四号阀门,45-十五号阀门,46-十六号阀门,47-十七号阀门,48-十八号阀门,49-十九号阀门,50-二十号阀门,51-二十一号阀门,52-二十二号阀门,53-二十三号阀门,54-二十四号阀门,55-二十五号阀门,56-二十六号阀门,57-二十七号阀门,58-二十八号阀门,59-二十九号阀门,61-热再蒸汽管,62-低压抽汽管,63-工业抽汽管,64-低压工业供汽母管,65-蒸汽旁路管,66-熔盐旁路管,67-高压蒸汽支管,68-第一蒸汽支管,69-第二蒸汽支管。

具体实施方式

[0019] 下面结合附图并通过实施例对本发明作进一步的详细说明,以下实施例是对本发明的解释而本发明并不局限于以下实施例。

[0020] 参见图1,该实施例涉及的一种热电联产耦合熔盐储热调峰的灵活供汽系统,包括:电站锅炉1、汽轮机组、熔盐储热装置和低压工业供汽装置,电站锅炉1内沿着烟气流动方向依次布置有过热器1001和再热器1002,汽轮机组包括高压缸2、中压缸3、低压缸4、发电

机5、凝汽器6、凝结水泵7、低压回热器8、除氧器9、锅炉给水泵10、中压回热器11和高压回热器12,高压缸2的进汽口与过热器1001的出汽口连接,高压缸2的排汽口与再热器1002的进汽口连接,中压缸3的进汽口通过热再蒸汽管61与再热器1002的出汽口连接,且在热再蒸汽管61上安装有一号阀门31,中压缸3的排汽口与低压缸4的进汽口连接,且在低压缸4的进汽口安装有二号阀门32,低压缸4的排汽口与凝汽器6的乏汽进口连接,高压缸2、中压缸3和低压缸4同轴连接并驱动发电机5做功发电,凝汽器6的凝结水出口通过凝结水泵7与低压回热器8的给水进口连接,低压回热器8、除氧器9、锅炉给水泵10、中压回热器11和高压回热器12的给水侧沿着水流动方向依次连接,锅炉给水泵10的给水进口安装有六号阀门36,高压回热器12的给水出口与电站锅炉1的给水进口连接,高压缸2为高压回热器12提供回热加热所需的蒸汽,中压缸3为中压回热器11提供回热加热所需的蒸汽,中压缸3还为除氧器9提供给水除氧所需的蒸汽,低压缸4为低压回热器8提供回热加热所需的蒸汽。

[0021] 为了实现储热调峰和灵活供汽,熔盐储热装置包括低温熔盐储罐13、高温熔盐储罐14、熔盐储换热件和熔盐放换热件,低压工业供汽装置包括储热供汽机构、放热供汽机构和低压工业供汽母管64,熔盐储换热件属于熔盐侧三级串联连接结构,低温熔盐储罐13的熔盐出口与熔盐储换热件第一级结构的熔盐进口连接,高温熔盐储罐14的熔盐进口与熔盐储换热件第三级结构的熔盐出口连接,熔盐储换热件第二级结构的蒸汽进口通过高压蒸汽支管67与再热器1002的出汽口连接,熔盐储换热件第二级结构的蒸汽出口与储热供汽机构的蒸汽进口连接,储热供汽机构的蒸汽进口还与中压缸3的抽汽口连接,熔盐储换热件第一级结构的蒸汽进口与储热供汽机构的蒸汽出口连接,熔盐储换热件第一级结构的蒸汽出口与低压工业供汽母管64的进汽端连接,熔盐放换热件属于熔盐侧两级串联连接结构,高温熔盐储罐14的熔盐出口与熔盐放换热件第一级结构的熔盐进口连接,熔盐放换热件第二级结构的熔盐出口与低温熔盐储罐13的熔盐进口连接,熔盐放换热件第一级结构的给水进口与除氧器9的给水出口连接,熔盐放换热件第一级结构的给水出口与熔盐放换热件第二级结构的给水进口连接,熔盐放换热件第一级结构的蒸汽出口与放热供汽机构的蒸汽进口连接,放热供汽机构的蒸汽进口还与中压缸3的排汽口连接,放热供汽机构的蒸汽出口与低压工业供汽母管64的进汽端连接,熔盐放换热件第二级结构的蒸汽出口还通过热再蒸汽管61与中压缸3的进汽口连接,熔盐储换热件的熔盐管路内介质与蒸汽管路内介质的流向相反,熔盐放换热件的熔盐管路内介质均与蒸汽管路内介质和给水管路内介质的流向相反。

[0022] 为了提升熔盐储热装置的调峰能力和运行能效,熔盐储换热件包括低温熔盐泵15、低压蒸汽冷却换热器16、高压蒸汽冷却换热器17、熔盐电加热器18和高温烟气熔盐换热器19,熔盐储换热件第一级结构利用低压蒸汽加热低温熔盐,熔盐储换热件第二级结构利用高压蒸汽加热低温熔盐,熔盐储换热件第三级结构同时利用高温烟气和电能加热低温熔盐,熔盐储换热件第一级结构包括低压蒸汽冷却换热器16,熔盐储换热件第二级结构包括高压蒸汽冷却换热器17,熔盐储换热件第三级结构包括熔盐电加热器18和高温烟气熔盐换热器19,熔盐放换热件包括高温熔盐泵20、高压蒸汽过热器21、高压蒸汽发生器22、中压蒸汽过热器23、中压蒸汽发生器24、给水过热器25、一号给水泵26和二号给水泵27,熔盐放换热件第一级结构利用高温熔盐生产高压蒸汽,熔盐放换热件第二级结构利用高温熔盐对给水进行加热和生产中压蒸汽,熔盐放换热件第一级结构包括高压蒸汽过热器21和高压蒸汽发生器22,熔盐放换热件第二级结构包括中压蒸汽过热器23、中压蒸汽发生器24和给水过

热器25。

[0023] 如图1和图2所示,具体地说,熔盐储换热件各个结构的连接方式为:熔盐电加热器18和高温烟气熔盐换热器19的熔盐侧并联连接,低压蒸汽冷却换热器16、高压蒸汽冷却换热器17和熔盐电加热器18或高温烟气熔盐换热器19的熔盐侧串联连接,低温熔盐泵15设置在低温熔盐储罐13的熔盐出口,且在低温熔盐储罐13的熔盐出口安装有七号阀门37,低温熔盐储罐13的熔盐出口与低压蒸汽冷却换热器16的熔盐进口连接,低压蒸汽冷却换热器16的熔盐出口与高压蒸汽冷却换热器17的熔盐进口连接,高压蒸汽冷却换热器17的熔盐出口同时与熔盐电加热器18和高温烟气熔盐换热器19的熔盐进口连接,且在熔盐电加热器18和高温烟气熔盐换热器19的熔盐进口分别安装有十五号阀门45和十六号阀门46,熔盐电加热器18和高温烟气熔盐换热器19的熔盐出口同时与高温熔盐储罐14的熔盐进口连接,且在高温熔盐储罐14的熔盐进口安装有十七号阀门47,低压蒸汽冷却换热器16的熔盐侧设置有熔盐旁路管66,且在熔盐旁路管66、低压蒸汽冷却换热器16的熔盐进口和熔盐出口分别安装有八号阀门38、九号阀门39和十号阀门40,高压蒸汽冷却换热器17的蒸汽进口通过高压蒸汽支管67与再热器1002的出汽口连接,且在高压蒸汽支管67上安装有五号阀门35,高压蒸汽冷却换热器17的蒸汽出口与储热供汽机构的蒸汽进口连接,储热供汽机构的蒸汽出口与低压蒸汽冷却换热器16的蒸汽进口连接,低压蒸汽冷却换热器16的蒸汽出口与低压工业供汽母管64的进汽端连接,低压蒸汽冷却换热器16的蒸汽侧设置有蒸汽旁路管65,且在蒸汽旁路管65、低压蒸汽冷却换热器16的蒸汽进口和蒸汽出口分别安装有十一号阀门41、十二号阀门42和十三号阀门43,高温烟气熔盐换热器19布置在电站锅炉1的过热器1001与再热器1002之间,熔盐电加热器18用于加热低温熔盐的电来自于发电机5;

熔盐放换热件各个结构的连接方式为:高压蒸汽过热器21和高压蒸汽发生器22的熔盐侧串联连接,中压蒸汽过热器23和中压蒸汽发生器24的熔盐侧串联连接,中压蒸汽过热器23或中压蒸汽发生器24和给水过热器25的熔盐侧并联连接,高压蒸汽发生器22和中压蒸汽过热器23或给水过热器25的熔盐侧串联连接,高温熔盐泵20设置在高温熔盐储罐14的熔盐出口,且在高温熔盐储罐14的熔盐出口安装有十八号阀门48,高温熔盐储罐14的熔盐出口与高压蒸汽过热器21的熔盐进口连接,高压蒸汽过热器21的熔盐出口与高压蒸汽发生器22的熔盐进口连接,高压蒸汽发生器22的熔盐出口同时与中压蒸汽过热器23和给水过热器25的熔盐进口连接,且在中压蒸汽过热器23和给水过热器25的熔盐进口分别安装有二十号阀门50和二十一号阀门51,中压蒸汽过热器23的熔盐出口与中压蒸汽发生器24的熔盐进口连接,中压蒸汽发生器24和给水过热器25的熔盐出口同时与低温熔盐储罐13的熔盐进口连接,且在低温熔盐储罐13的熔盐进口安装有二十二号阀门52,中压蒸汽发生器24和给水过热器25的给水进口同时与除氧器9的给水出口连接,且在中压蒸汽发生器24的给水进口安装有一号给水泵26和二十三号阀门53,在给水过热器25的给水进口安装有二号给水泵27和二十四号阀门54,中压蒸汽发生器24的蒸汽出口与中压蒸汽过热器23的蒸汽进口连接,中压蒸汽过热器23的蒸汽出口与放热供汽机构的蒸汽进口连接,且在中压蒸汽过热器23的蒸汽出口安装有二十五号阀门55,给水过热器25的给水出口与高压蒸汽发生器22的给水进口连接,高压蒸汽发生器22的蒸汽出口与高压蒸汽过热器21的蒸汽进口连接,高压蒸汽过热器21的蒸汽出口还通过热再蒸汽管61与中压缸3的进汽口连接,且在高压蒸汽过热器21的蒸汽出口安装有十九号阀门49。

[0024] 如图1所示,还具体地说,储热供汽机构包括蒸汽减压装置30和工业抽汽管63,高压蒸汽冷却换热器17的蒸汽出口与蒸汽减压装置30的蒸汽进口连接,蒸汽减压装置30的蒸汽出口与低压蒸汽冷却换热器16的蒸汽进口连接,且在蒸汽减压装置30的蒸汽出口安装有十四号阀门44,工业抽汽管63的进汽端和出汽端分别与中压缸3的抽汽口和低压蒸汽冷却换热器16的蒸汽进口连接,且在工业抽汽管63上安装有四号阀门34,放热供汽机构包括背压机28、蒸汽压力匹配器29和低压抽汽管62,背压机28的进汽口通过第二蒸汽支管69与中压蒸汽过热器23的蒸汽出口连接,且在第二蒸汽支管69上安装有二十六号阀门56,背压机28的排汽口与低压工业供汽母管64的进汽端连接,且在背压机28的排汽口安装有二十七号阀门57,蒸汽压力匹配器29的高压蒸汽进口通过第一蒸汽支管68与中压蒸汽过热器23的蒸汽出口连接,且在第一蒸汽支管68上安装有二十八号阀门58,蒸汽压力匹配器29的低压蒸汽进口通过低压抽汽管62与中压缸3的排汽口连接,且在低压抽汽管62上安装有三号阀门33,蒸汽压力匹配器29的中压蒸汽出口与低压工业供汽母管64的进汽端连接,且在蒸汽压力匹配器29的中压蒸汽出口安装有二十九号阀门59,背压机28用于驱动低温熔盐泵15、高温熔盐泵20、一号给水泵26和二号给水泵27做功。

[0025] 本实施例的调节方法如下:

当所述系统降电负荷调峰时,则利用熔盐储换热件进行储热和利用储热供汽机构对外供热,此时,打开并调节相对应的阀门,低温熔盐储罐13输出的低温熔盐依次进入低压蒸汽冷却换热器16、高压蒸汽冷却换热器17被低压蒸汽、高压蒸汽梯级加热后分两路输出,分别进入高温烟气熔盐换热器19和熔盐电加热器18同时被高温烟气和电能第三次加热后再输出汇合,并输送至高温熔盐罐14进行储热,来自再热器1002的热再蒸汽经过高压蒸汽冷却换热器17与低温熔盐进行换热降温后,输送至蒸汽减压装置30进行减压,然后与来自中压缸3的工业抽汽汇合后,输送至低压蒸汽冷却换热器16与低温熔盐进行换热降温,最后经由低压工业供汽母管64对外输出供汽,此时则:

优先利用蒸汽加热低温熔盐,其次利用高温烟气加热低温熔盐,最后利用电能加热低温熔盐,在满足外界供汽需求和系统电力调峰要求的同时,提升系统降电负荷调峰时的能源利用效率。

[0026] 当所述系统升电负荷调峰时,则利用熔盐放换热件进行放热和利用放热供汽机构对外供热,此时,打开并调节相对应的阀门,高温熔盐储罐14输出的高温熔盐依次进入高压蒸汽过热器21、高压蒸汽发生器22被第一次冷却降温后,然后分两路分别输送至中压蒸汽过热器23和给水过热器25进行冷却降温,中压蒸汽过热器23输出的高温熔盐再进入中压蒸汽发生器24进行冷却降温,经给水过热器25和中压蒸汽发生器24冷却降温后的高温熔盐输出汇合后,最后输送至低温熔盐储罐13进行放热,来自除氧器9的给水分两路,一路给水经一号给水泵26升压后进入中压蒸汽发生器24被加热后形成饱和蒸汽,另一路给水经二号给水泵27升压后进入给水过热器25被加热后形成高温给水,中压蒸汽发生器24输出的饱和蒸汽进入中压蒸汽过热器23被加热后形成过热蒸汽,然后分两路输出,一路过热蒸汽经第二蒸汽支管69输送至背压机做功28后形成低压蒸汽,再通过低压工业供汽母管64对外输出供汽,另一路过热蒸汽经第一蒸汽支管68输送至蒸汽压力匹配器29,与来自中压缸3的排汽进行压力匹配后形成低压蒸汽,然后也通过低压工业供汽母管64对外输出供汽,给水过热器25输出的高温给水直接进入高压蒸汽发生器22被加热后形成高压饱和蒸汽,然后输送至高

压蒸汽过热器21被再次加热后形成高压过热蒸汽,最后经热再蒸汽管61依次进入中压缸3、低压缸4进行做功发电,此时则:

优先利用背压机28做功后输出的排汽对外供热,其次利用蒸汽压力匹配器29输出的低压蒸汽对外供热。

[0027] 在本实施例的调节方法中,在所述系统降电负荷调峰的过程中,同时需要提升电负荷响应速率进行调频时,则优先通过增加熔盐电加热器的电加热功率来满足调频需求,其次通过增加高压蒸汽冷却换热器的高压蒸汽换热功率来满足调频需求。

[0028] 此外,需要说明的是,本说明书中所描述的具体实施例,其零、部件的形状、所取名称等可以不同,本说明书中所描述的以上内容仅仅是对本发明结构所作的举例说明。凡依据本发明专利构思所述的构造、特征及原理所做的等效变化或者简单变化,均包括于本发明专利的保护范围内。本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,只要不偏离本发明的结构或者超越本权利要求书所定义的范围,均应属于本发明的保护范围。

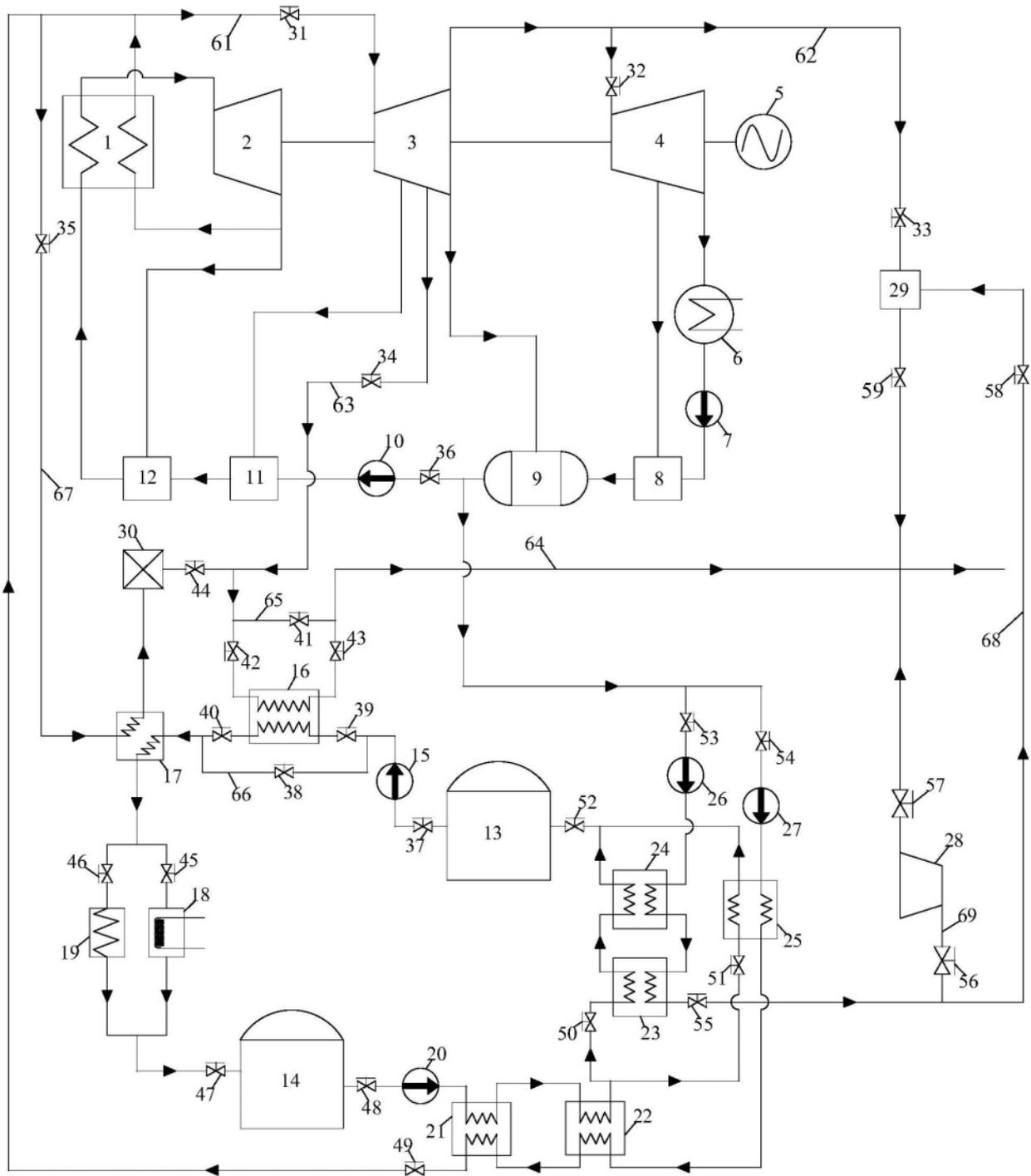


图1

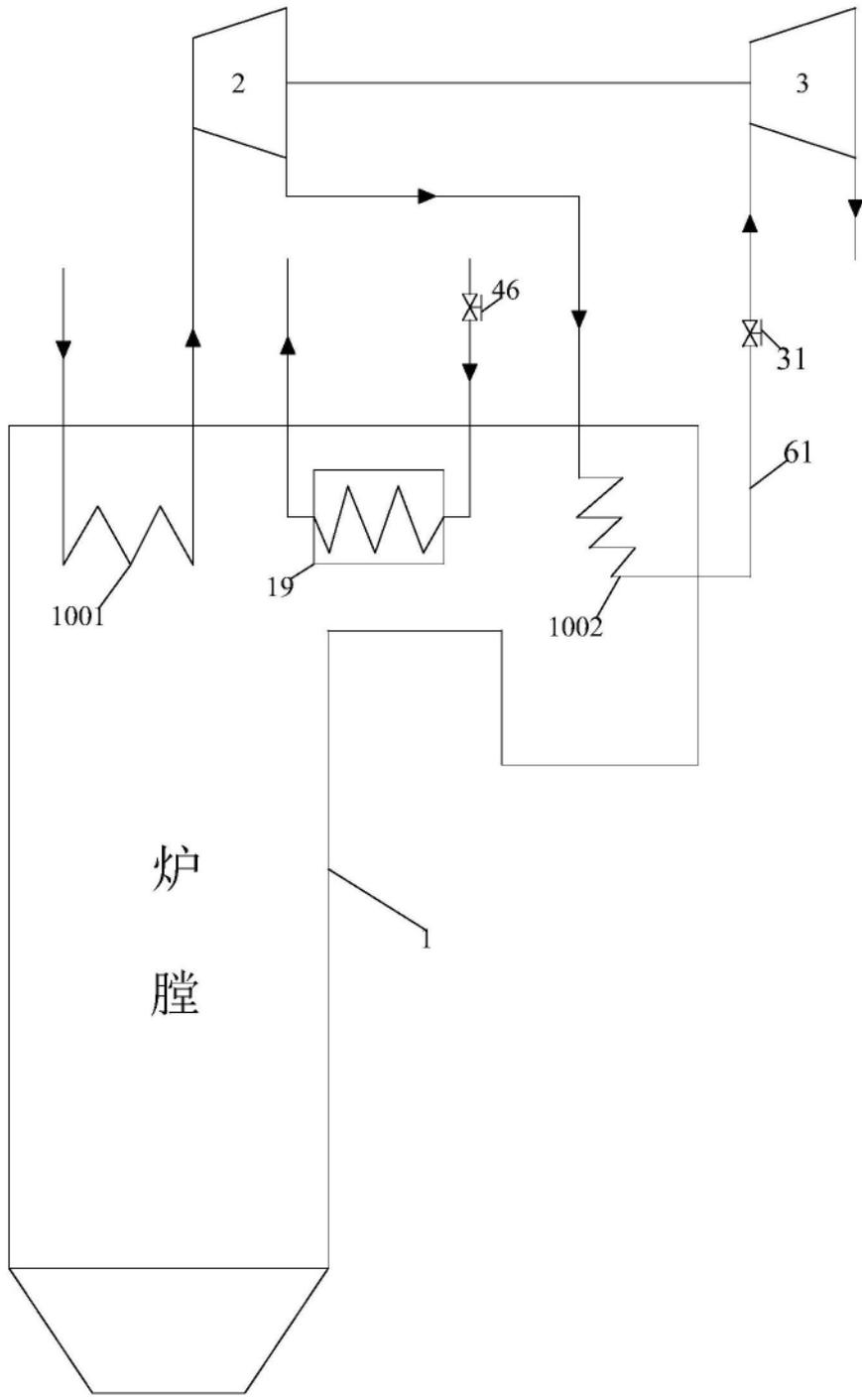


图2