(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109184812 B
(45)授权公告日 2022.01.11

(21)申请号 201810995209.4

(22)申请日 2018.08.29

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109184812 A

(43)申请公布日 2019.01.11

(73)专利权人 山东电力工程咨询院有限公司
地址 250014 山东省济南市历下区闵子骞路106号

(72)发明人 刘义达 祁金胜 杨俊波 王龙林

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221
代理人 董雪

(51)Int.Cl.
F01D 15/10(2006.01)
F01K 7/32(2006.01)
F01K 11/00(2006.01)
F01K 13/00(2006.01)
F01K 25/10(2006.01)

审查员 刘玲

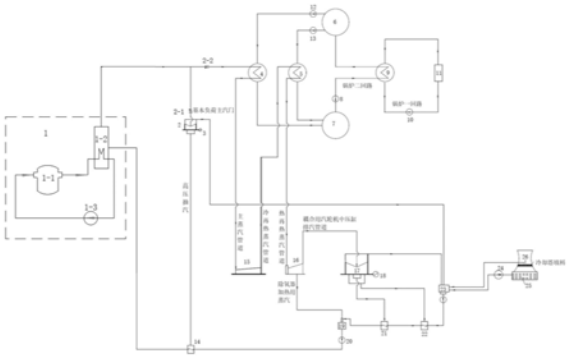
权利要求书2页 说明书11页 附图1页

(54)发明名称

基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统和方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统及方法，包括：锅炉与气体-熔盐换热器连接，构成锅炉一回路，气体-熔盐换热器与冷熔盐罐和热熔盐罐分别连接，所述冷熔盐罐和热熔盐罐分别连接熔盐-过热蒸汽换热器，构成锅炉二回路；所述核岛的蒸汽出口分成两路，其中一路连接带基本负荷汽轮机，另一路连接熔盐-过热蒸汽换热器；熔盐-过热蒸汽换热器的蒸汽出口连接耦合用汽轮机；带基本负荷汽轮机带动第一发电机发电，所述耦合用汽轮机带动第二发电机发电；本发明充分利用了特殊气体比热容高以及熔盐蓄热可以将工艺时间平移的特点，在提升循环热效率和发电效率的同时，提升了耦合系统运行的安全性和对变工况的适应性。



CN 109184812 B

1.基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统,其特征在于,包括:冷却塔、凝汽器、除氧器、高压加热器、核岛、锅炉、气体-熔盐换热器、热熔盐罐、冷熔盐罐、熔盐-过热蒸汽换热器、带基本负荷汽轮机和耦合用汽轮机;

锅炉通过气体循环风机与气体-熔盐换热器连接,构成锅炉一回路;气体-熔盐换热器与冷熔盐罐和热熔盐罐分别连接,所述冷熔盐罐和热熔盐罐分别连接熔盐-过热蒸汽换热器,构成锅炉二回路;

所述核岛的蒸汽出口分成两路,其中一路连接带基本负荷汽轮机,另一路连接熔盐-过热蒸汽换热器;所述熔盐-过热蒸汽换热器的蒸汽出口连接耦合用汽轮机;所述带基本负荷汽轮机带动第一发电机发电,所述耦合用汽轮机带动第二发电机发电;

所述耦合用汽轮机的排汽经过凝汽器冷却为凝结水,所述凝结水经过除氧器后进入高压加热器加热,加热后的给水进入核岛;所述熔盐-过热蒸汽换热器的蒸汽出口与耦合用汽轮机高压缸的蒸汽入口连接,所述耦合用汽轮机高压缸的蒸汽出口与熔盐-再热蒸汽换热器相连接;所述熔盐-再热蒸汽换热器与冷熔盐罐和热熔盐罐分别连接。

2.如权利要求1所述的基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统,其特征在于,所述耦合用汽轮机包括:耦合用汽轮机高压缸、耦合用汽轮机中压缸和耦合用汽轮机低压缸;所述熔盐-再热蒸汽换热器的蒸汽出口与耦合用汽轮机中压缸的蒸汽入口连接,耦合用汽轮机中压缸的蒸汽出口与耦合用汽轮机低压缸的蒸汽入口连接,耦合用汽轮机低压缸与第二发电机连接。

3.如权利要求2所述的基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统,其特征在于,所述热熔盐罐通过过热蒸汽用热熔盐泵与熔盐-过热蒸汽换热器连接,所述热熔盐罐通过再热蒸汽用热熔盐泵与熔盐-再热蒸汽换热器连接。

4.如权利要求1所述的基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统,其特征在于,所述耦合用汽轮机包括:耦合用汽轮机高压缸和耦合用汽轮机低压缸,所述熔盐-过热蒸汽换热器的蒸汽出口与耦合用汽轮机高压缸的蒸汽入口连接,所述耦合用汽轮机高压缸的蒸汽出口与耦合用汽轮机低压缸的蒸汽入口连接,耦合用汽轮机低压缸与第二发电机连接。

5.如权利要求4所述的基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统,其特征在于,所述热熔盐罐通过过热蒸汽用热熔盐泵与熔盐-过热蒸汽换热器连接。

6.如权利要求2或者4所述的基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统,其特征在于,在所述核岛与熔盐-过热蒸汽换热器和带基本负荷汽轮机的连接管路上分别设置阀门。

7.一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的方法,其特征在于,包括:

锅炉向气体-熔盐换热器提供高温气体,冷熔盐从冷熔盐罐中进入气体-熔盐换热器,经高温气体加热后成为热熔盐,热熔盐进入热熔盐罐;

给水被加热后进入核岛,在核岛中受热蒸发成为饱和蒸汽或湿蒸汽,所述饱和蒸汽或湿蒸汽一部分进入带基本负荷汽轮机做功,另一部分进入熔盐-过热蒸汽换热器;

热熔盐罐中的热熔盐进入熔盐-过热蒸汽换热器加热从核岛出来的饱和蒸汽或湿蒸汽后,冷却为冷熔盐进入冷熔盐罐;进入熔盐-过热蒸汽换热器的饱和蒸汽或湿蒸汽被热熔盐加热成为过热蒸汽,过热蒸汽进入耦合用汽轮机做功。

8.如权利要求7所述的一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的方法,其特征在于,所述耦合用汽轮机包括:耦合用汽轮机高压缸、耦合用汽轮机中压缸和耦合用汽轮机低

压缸;过热蒸汽进入耦合用汽轮机高压缸,耦合用汽轮机高压缸的排汽被热熔盐加热成为再热蒸汽,所述再热蒸汽进入耦合用汽轮机中压缸做功,耦合用汽轮机中压缸的排汽进入耦合用汽轮机低压缸做功,带动发电机发电。

9.如权利要求7所述的一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的方法,其特征在于,所述耦合用汽轮机包括:耦合用汽轮机高压缸和耦合用汽轮机低压缸;过热蒸汽进入耦合用汽轮机高压缸做功,耦合用汽轮机高压缸的排汽进入耦合用汽轮机低压缸做功,带动发电机发电。

10.如权利要求7所述的一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的方法,其特征在于,在启动及升负荷的第一阶段,核岛出口的饱和蒸汽或者湿蒸汽仅进入带基本负荷汽轮机做功发电;在启动及升负荷的第二阶段,锅炉启动并加热熔盐蓄热;在启动及升负荷的第三阶段,进入并耦运行模式,当熔盐温度达到设定的要求值时,维持核岛基本负荷的蒸汽仍进入带基本负荷汽轮机,同时进入核岛的给水和从核岛出来的蒸汽量增加,除了满足维持核岛基本负荷以外的蒸汽,进入熔盐-过热蒸汽换热器进一步受热成为过热蒸汽,过热蒸汽进入耦合用汽轮机做功;

锅炉故障时间小于设定阈值时,系统进入一级解耦运行模式,切除锅炉一回路,仅运行锅炉二回路,采用热熔盐罐中的蓄热满足蒸汽加热需求;

熔盐系统不能利用时,系统进入二级解耦运行模式,切除锅炉一回路和锅炉二回路,核岛出来的蒸汽只进入带基本负荷汽轮机,不再进入熔盐-过热蒸汽换热器;

核岛突然故障甩负荷或停机时,锅炉二回路快速停止运行,由于锅炉升降负荷时的热惯性较大,锅炉一回路在短时间内仍继续运行,逐步降低负荷,并将这个过程中产生的热量通过气体-熔盐换热器储存在熔盐中蓄热,蓄热的过程为锅炉跟随核岛甩负荷或停机提供充足和安全的运行调整时间。

基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及能源技术领域，特别是涉及一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统和方法。

背景技术

[0002] 压水堆是现代商用核电的主流技术。常规压水堆一般为两回路系统，其中二回路系统的蒸汽带动汽轮机发电。由于反应堆载热剂温度的限制(压水堆平均出口温度一般低于330摄氏度)，只能生产压力较低的(5.0～8.0MPa)饱和蒸汽或微过热(过热度为20～30摄氏度)蒸汽，全机理想比焓降很小，蒸汽湿度又高，为了增大单机功率，其蒸汽流量必然很大。目前商用核电厂二回路系统的参数一般为压力约6～8MPa，温度约230℃～290℃左右，发电效率约34％。根据朗肯循环可知，二回路所能产生的蒸汽参数较低限制了压水堆电站发电效率的提高。

[0003] 核电厂大多数都使用饱和蒸汽，核电汽轮机2/3的作功是在低压缸中完成，但核电汽轮机低压缸的排汽湿度较大，一般高达12％～14％，容易造成叶片侵蚀、腐蚀，因此一般采用半速汽轮机，而且在高压缸后需要加专门的汽水分离再热器进行除湿、再热。而火电厂普遍采用过热蒸汽，过热度高，普遍采用全速汽轮机。半速汽轮机转子直径达、重量重，一般来讲，半速汽轮机的材料消耗量要比全速汽轮机超过2倍，对于整台机组来说，半速汽轮机的重量约为全速机组的1.2～2.4倍。相应的汽轮机基础的支承负荷也加大，土建投资加大；半速汽轮机在运输、起吊、安装等方面的投资也比全速汽轮机高。设备造价和安装土建费，半速机比全速机高20％～30％(对整个常规岛相当于高7％左右)。

[0004] 现有技术中，虽然提出了核能与常规能源的串并联耦合发电系统及核能与常规能源直接过热耦合发电系统，但都没有解决耦合过程带来的容错性和安全性问题。如果采用传统的水和水蒸气工质的锅炉，由于在耦合发电系统中，水是在核岛中气化，气化后的水蒸气进入锅炉，而水蒸气的比热容远远小于液态水，从而导致锅炉的设计难度大大加大，且运行安全性得不得保证。

发明内容

[0005] 本发明为了解决上述问题，提出了一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统和方法，本发明既可以解决核能所产生的蒸汽品位低和发电效率低的问题，又可以解决耦合用锅炉设计和运行安全性得不得保障的问题，还可以解决耦合系统运行过程中，升降负荷时对于核岛和锅炉的负荷冲击问题。

[0006] 为了实现上述目的，本发明采用如下技术方案：

[0007] 在一个或多个实施方式中公开的基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统，包括：冷却塔、凝汽器、除氧器、高压加热器、核岛、锅炉、气体-熔盐换热器、热熔盐罐、冷熔盐罐、熔盐-过热蒸汽换热器、带基本负荷汽轮机和耦合用汽轮机；

[0008] 锅炉通过气体循环风机与气体-熔盐换热器连接，构成锅炉一回路；气体-熔盐换

热器与冷熔盐罐和热熔盐罐分别连接，所述冷熔盐罐和热熔盐罐分别连接熔盐-过热蒸汽换热器，构成锅炉二回路；

[0009] 所述核岛的蒸汽出口分成两路，其中一路连接带基本负荷汽轮机，另一路连接熔盐-过热蒸汽换热器；所述熔盐-过热蒸汽换热器的蒸汽出口连接耦合用汽轮机；所述带基本负荷汽轮机带动第一发电机发电，所述耦合用汽轮机带动第二发电机发电；

[0010] 所述耦合用汽轮机的排汽经过凝汽器冷却为凝结水，所述凝结水经过除氧器后进入高压加热器加热，加热后的给水进入核岛。

[0011] 进一步地，所述耦合用汽轮机包括：耦合用汽轮机高压缸、耦合用汽轮机中压缸和耦合用汽轮机低压缸；所述熔盐-过热蒸汽换热器的蒸汽出口与耦合用汽轮机高压缸的蒸汽入口连接，所述耦合用汽轮机高压缸的蒸汽出口与熔盐-再热蒸汽换热器相连接；所述熔盐-再热蒸汽换热器与冷熔盐罐和热熔盐罐分别连接；所述熔盐-再热蒸汽换热器的蒸汽出口与耦合用汽轮机中压缸的蒸汽入口连接，耦合用汽轮机中压缸的蒸汽出口与耦合用汽轮机低压缸的蒸汽入口连接，耦合用汽轮机低压缸与第二发电机连接。

[0012] 进一步地，所述热熔盐罐通过过热蒸汽用热熔盐泵与熔盐-过热蒸汽换热器连接，所述热熔盐罐通过再热蒸汽用热熔盐泵与熔盐-再热蒸汽换热器连接。

[0013] 进一步地，所述耦合用汽轮机包括：耦合用汽轮机高压缸和耦合用汽轮机低压缸，所述熔盐-过热蒸汽换热器的蒸汽出口与耦合用汽轮机高压缸的蒸汽入口连接，所述耦合用汽轮机高压缸的蒸汽出口与耦合用汽轮机低压缸的蒸汽入口连接，耦合用汽轮机低压缸与第二发电机连接。

[0014] 进一步地，所述热熔盐罐通过过热蒸汽用热熔盐泵与熔盐-过热蒸汽换热器连接。

[0015] 进一步地，在所述核岛与熔盐-过热蒸汽换热器和带基本负荷汽轮机的连接管路上分别设置阀门。

[0016] 在一个或多个实施方式中公开的一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的方法，包括：

[0017] 锅炉向气体-熔盐换热器提供高温气体，冷熔盐从冷熔盐罐中进入气体-熔盐换热器，经高温气体加热后成为热熔盐，热熔盐进入热熔盐罐；

[0018] 给水被加热后进入核岛，在核岛中受热蒸发成为饱和蒸汽或湿蒸汽，所述饱和蒸汽或湿蒸汽一部分进入带基本负荷汽轮机做功，另一部分进入熔盐-过热蒸汽换热器；

[0019] 热熔盐罐中的热熔盐进入熔盐-过热蒸汽换热器加热从核岛出来的饱和蒸汽或湿蒸汽后，冷却为冷熔盐进入冷熔盐罐；进入熔盐-过热蒸汽换热器的饱和蒸汽或湿蒸汽被热熔盐加热成为过热蒸汽，过热蒸汽进入耦合用汽轮机做功。

[0020] 进一步地，所述耦合用汽轮机包括：耦合用汽轮机高压缸、耦合用汽轮机中压缸和耦合用汽轮机低压缸；过热蒸汽进入耦合用汽轮机高压缸，耦合用汽轮机高压缸的排汽被热熔盐加热成为再热蒸汽，所述再热蒸汽进入耦合用汽轮机中压缸做功，耦合用汽轮机中压缸的排汽进入耦合用汽轮机低压缸做功，带动发电机发电。

[0021] 进一步地，所述耦合用汽轮机包括：耦合用汽轮机高压缸和耦合用汽轮机低压缸；过热蒸汽进入耦合用汽轮机高压缸做功，耦合用汽轮机高压缸的排汽进入耦合用汽轮机低压缸做功，带动发电机发电。

[0022] 进一步地，在启动及升负荷的第一阶段，核岛出口的饱和蒸汽或者湿蒸汽仅进入

带基本负荷汽轮机做功发电;在启动及升负荷的第二阶段,锅炉启动并加热熔盐蓄热;在启动及升负荷的第三阶段,进入并耦运行模式,当熔盐温度达到设定的要求值时,维持核岛基本负荷的蒸汽仍进入带基本负荷汽轮机,同时进入核岛的给水和从核岛出来的蒸汽量增加,除了满足维持核岛基本负荷以外的蒸汽,进入熔盐-过热蒸汽换热器进一步受热成为过热蒸汽,过热蒸汽进入耦合用汽轮机做功;

[0023] 进一步地,锅炉故障时间小于设定阈值时,系统进入一级解耦运行模式,切除锅炉一回路,仅运行锅炉二回路,采用热熔盐罐中的蓄热满足蒸汽加热需求;

[0024] 进一步地,熔盐系统不能利用时,系统进入二级解耦运行模式,切除锅炉一回路和锅炉二回路,核岛出来的蒸汽只进入带基本负荷汽轮机,为了使得熔盐维持液态、不凝固,通过电伴热来满足熔盐保温的要求,电伴热消耗的电能优先由带基本负荷汽轮机带动第一发电机发电提供,电网倒送电仅作为备用;

[0025] 进一步地,核岛突然故障甩负荷或停机时,锅炉二回路可快速停止运行,由于锅炉升降负荷时的热惯性较大,本发明的锅炉一回路在短时间内仍可继续运行,逐步降低负荷,并将这个过程中产生的热量通过气体-熔盐换热器储存在熔盐中蓄热,蓄热的过程为锅炉跟随核岛甩负荷或停机提供充足和安全的运行调整时间。

[0026] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:

[0027] 1、本发明特殊设计的一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能的发电系统,充分利用了特殊气体(如氦气、超临界二氧化碳等)比热容高的特点,吸收化学能燃料释放并转化而成的热能,并充分利用熔盐蓄热可以将工艺时间平移的特点,将三个主要的工艺过程在启动并耦、事故解耦等多种不同工况下的运行模式合理组合,在提升循环热效率和发电效率的同时,提升了耦合系统运行的安全性和对变工况的适应性。

[0028] 2、通过设置熔盐储罐,提高了系统的热惯性,能灵活而安全的适应多种变工况。通过熔盐储能控制对蒸汽的加热,由于熔盐流量可通过熔盐泵调节,故对于过热汽温、再热汽温的调节比较简单而且准确,电站对于电网调度要求的负荷响应较快。

[0029] 3、通过将锅炉分为一回路和二回路,将化学能转化的热能的吸收过程和热能的储存利用过程分开,一回路的作用是将化学能转化的热能最大限度的吸收出来,二回路的作用是储存上述的热能,并将这些热能用于加热蒸汽。两回路分开便于根据耦合系统在不同工况下的运行需要分别控制这两个过程。

[0030] 4、设置了带基本负荷汽轮机,在启动、解耦等工况下,核岛可以维持最低负荷长期稳定独立运行,大大减少了反应堆启停的经济损失和安全风险;而且,在解耦运行模式下,带基本负荷汽轮机带动第一发电机发出的电还可以供厂用电(如熔盐伴热用电等)使用,增强了熔盐系统的安全性。

[0031] 5、耦合系统的蒸汽温度达到400～700℃,与核岛出口的300摄氏度以下的温度相比,循环热效率大幅提高,同样的核岛投资和运行成本下,核能所发出的电力大幅提高,从而实现了高效核能利用。

[0032] 6、由于耦合蒸汽过热度较高,经过汽轮机做功后,排汽湿度远低于现代商用的核电汽轮机,因此耦合用汽轮机具备了采用更轻更紧凑的全速汽轮机的条件,大大降低了投资成本。

[0033] 7、核岛采用采用常规的核岛两回路技术,核岛技术成熟,辐射防护和废物处理也

比较成熟简单。

附图说明

[0034] 构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本申请的进一步理解，本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请，并不构成对本申请的不当限定。

[0035] 图1为实施例一中基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统示意图；

[0036] 图2为实施例二中基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统示意图；

[0037] 其中，1.核岛，1-1.核反应堆，1-2.蒸汽发生器，1-3.核岛一回路主泵；2.带基本负荷汽轮机，3.第一发电机，4.熔盐-过热蒸汽换热器，5.熔盐-再热蒸汽换热器，6.热熔盐罐，7.冷熔盐罐，8.冷熔盐泵，9.气体-熔盐换热器，10.气体循环风机，11.锅炉，12.过热蒸汽用热熔盐泵，13.再热蒸汽用热熔盐泵，14.高压加热器，15.耦合用汽轮机高压缸，16.耦合用汽轮机中压缸，17.耦合用汽轮机低压缸，18.第二发电机，19.除氧器，20.给水泵，21.1#低压加热器，22.2#低压加热器，23.凝汽器，24.循环水泵，25.冷却水池，26.冷却塔。

具体实施方式：

[0038] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0039] 应该指出，以下详细说明都是例示性的，旨在对本申请提供进一步的说明。除非另有指明，本文使用的所有技术和科学术语具有与本申请所属技术领域的普通技术人员通常理解的相同含义。

[0040] 需要注意的是，这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式，而非意图限制根据本申请的示例性实施方式。如在这里所使用的，除非上下文另外明确指出，否则单数形式也意图包括复数形式，此外，还应当理解的是，当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时，其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0041] 实施例一

[0042] 在一个或多个实施方式中，公开了一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统，如图1所示，包括：核岛1、锅炉11、气体-熔盐换热器9、热熔盐罐6、冷熔盐罐7、冷熔盐泵8、过热蒸汽用热熔盐泵12、再热蒸汽用热熔盐泵13、熔盐-过热蒸汽换热器4、熔盐-再热蒸汽换热器5、带基本负荷汽轮机2、第一发电机3、耦合用汽轮机、第二发电机18、低压加热器、高压加热器14、除氧器19、凝汽器23、冷却塔26、循环水泵24、给水泵20等。

[0043] 核岛1包括核反应堆1-1、核岛一回路主泵1-3、蒸汽发生器1-2等。进入核岛1的给水经过蒸汽发生器1-2加热后蒸发成为饱和蒸汽或干度大于0.9的湿蒸汽。

[0044] 其中，耦合用汽轮机包括：耦合用汽轮机高压缸15、耦合用汽轮机中压缸16和耦合用汽轮机低压缸17；熔盐-过热蒸汽换热器4的蒸汽出口与耦合用汽轮机高压缸15的蒸汽入口连接，耦合用汽轮机高压缸15的蒸汽出口与熔盐-再热蒸汽换热器5相连接，熔盐-再热蒸汽换热器5与冷熔盐罐7和热熔盐罐6分别连接；熔盐-再热蒸汽换热器5的蒸汽出口与耦合用汽轮机中压缸16的蒸汽入口连接，耦合用汽轮机中压缸16的蒸汽出口与耦合用汽轮机低压缸17的蒸汽入口连接，耦合用汽轮机低压缸17与第二发电机18连接。

[0045] 锅炉11与气体-熔盐换热器9连接，构成锅炉一回路，锅炉11通过燃烧化学能燃料(如煤、油、天然气等化石燃料，以及生物质、垃圾等可再生能源燃料等)将化学能转化成热

能，并通过特殊的气体(如氦气、超临界二氧化碳等)将热能传递出来，在锅炉入口为低温气体(如氦气、超临界二氧化碳等)，在锅炉出口为高温气体(如氦气、超临界二氧化碳等)，气体的循环动力由位于锅炉入口的气体循环风机10提供。

[0046] 气体-熔盐换热器9与冷熔盐罐7和热熔盐罐6分别连接，冷熔盐罐7和热熔盐罐6分别连接熔盐-过热蒸汽换热器4，构成锅炉二回路；冷熔盐从冷熔盐罐7中经冷熔盐泵8打入气体-熔盐换热器9，经高温气体加热后成为热熔盐，热熔盐进入热熔盐罐6。热熔盐罐6中的一部分热熔盐通过过热蒸汽用热熔盐泵12打入熔盐-过热蒸汽换热器4加热从核岛1出来的蒸汽，然后被从核岛1出来的蒸汽冷却后的冷熔盐进入冷熔盐罐7；热熔盐罐6中的另一部分热熔盐通过再热蒸汽用热熔盐泵13打入熔盐-再热蒸汽换热器5加热从耦合用汽轮机高压缸15出来的耦合用汽轮机高压缸15排汽，然后被从耦合用汽轮机高压缸出来的耦合用汽轮机高压缸排汽冷却后的冷熔盐进入冷熔盐罐7。

[0047] 循环水泵24入口接自冷却水池25，循环水泵24出口去凝汽器23冷却低压缸排汽，冷却低压缸排汽后的循环水受热升温，在冷却塔26降温后进入冷却水池25。冷却塔26降温原理与常规火电、核电的冷却塔26原理相同，例如采用冷却塔填料方式冷却。

[0048] 凝汽器23中的凝结水依次经过1#低压加热器21、2#低压加热器22到达除氧器19，除氧器19出口的给水经给水泵20和高压加热器14后进入核岛1，除氧器19中被除氧的水经给水泵20送至高压加热器14被高压抽汽加热，被高压加热器14中的高压抽汽加热后的给水进入核岛1，在核岛1中受热蒸发成为饱和蒸汽或干度大于0.9的湿蒸汽。高压加热器14的抽汽取自带基本负荷汽轮机2，1#低压加热器21和2#低压加热器22的抽汽取自耦合用汽轮机低压缸17，除氧器19加热用汽取自耦合用汽轮机中压缸16。

[0049] 需要说明的是，本领域习惯上以除氧器为界，除氧器之前称为凝结水，除氧器之后称为给水。

[0050] 核岛1出口的饱和蒸汽或者干度大于0.9的湿蒸汽分成两路，其中第一路接至带基本负荷汽轮机2，第二路接至熔盐-过热蒸汽换热器4。第一路饱和蒸汽或者干度大于0.9的湿蒸汽在带基本负荷汽轮机2中做功带动第一发电机3发电；第二路饱和蒸汽或者干度大于0.9的湿蒸汽在熔盐-过热蒸汽换热器4中被热熔盐加热成为过热蒸汽，过热蒸汽进入耦合用汽轮机高压缸15做功，耦合用汽轮机高压缸15的排汽与熔盐-再热蒸汽换热器5相连接，耦合用汽轮机高压缸15的排汽在熔盐-再热蒸汽换热器5中被热熔盐加热成为再热蒸汽，再热蒸汽进入耦合用汽轮机中压缸16做功，耦合用汽轮机中压缸16的排汽进入耦合用汽轮机低压缸17做功，耦合用汽轮机的高压缸、中压缸、低压缸做功带动第二发电机18发电。

[0051] 在核岛1与熔盐-过热蒸汽换热器4的连接管路上设置阀门2-2，在核岛1与带基本负荷汽轮机2的连接管路上设置阀门2-1。

[0052] 以上是正常耦合运行工况的工作原理。和现有技术相比更能体现本发明优势的是，本发明还能灵活而安全的适应几种典型的变工况：

[0053] 1、启动并耦工况：

[0054] 耦合系统启动及升负荷时，在启动及升负荷的第一阶段，阀门2-2关闭，阀门2-1打开，核岛出口的饱和蒸汽或者干度大于0.9的湿蒸汽进入带基本负荷汽轮机2做功发电；在启动及升负荷的第二阶段，锅炉11启动，加热熔盐蓄热；在启动及升负荷的第三阶段，进入并耦运行模式，当熔盐温度达到设定的要求值时，阀门2-1仍然打开，维持核岛基本负荷的

蒸汽仍进入带基本负荷汽轮机2，同时阀门2-2也开启，进入核岛1的给水和从核岛1出来的蒸汽量增加，除了满足维持核岛基本负荷以外的蒸汽，通过阀门2-2进入熔盐-过热蒸汽换热器4进一步受热成为过热蒸汽，过热蒸汽进入耦合用汽轮机高压缸15中做功。

[0055] 2、锅炉解列工况：

[0056] 核岛1的运行涉及核安全的问题，现有技术没有解决当锅炉突然停机时，耦合系统如何适应快速调整负荷的问题。在本发明中，锅炉11短时故障时，系统进入一级解耦运行模式，切除锅炉一回路，仅运行锅炉二回路，采用熔盐罐中的蓄热满足对从核岛1出来的蒸汽、从耦合用汽轮机高压缸15出来的耦合用汽轮机高压缸排汽的加热要求，通过控制热熔盐的流量可逐步降低耦合系统整体的负荷，避免了负荷突降对核岛1的负荷冲击，保证了在锅炉11突然解列工况下核反应堆1-1运行的安全性。采用熔盐罐蓄热对于本发明的技术方案来讲，技术成熟可靠，而且由于熔盐流量可通过熔盐泵调节，故对于过热汽温、再热汽温的调节比较简单而且准确。

[0057] 3、熔盐系统解列工况：

[0058] 意外事故(如熔盐泵故障等)导致熔盐系统不能利用时，系统进入二级解耦运行模式，快速切除锅炉二回路，阀门2-2关闭，阀门2-1打开，核岛1出来的蒸汽只进入带基本负荷汽轮机2。为了使得熔盐维持液态、不凝固，通过电伴热来满足熔盐保温的要求，电伴热消耗的电能优先由带基本负荷汽轮机2带动第一发电机3发电提供，电网倒送电仅作为备用。

[0059] 同时，逐渐切除锅炉一回路：锅炉二回路可快速停止运行，由于锅炉升降负荷时的热惯性较大，本发明的锅炉一回路在短时间内仍可继续运行，逐步降低负荷，并将这个过程中产生的热量通过气体-熔盐换热器9储存在熔盐中蓄热，蓄热的过程为锅炉跟随核岛甩负荷或停机提供充足和安全的运行调整时间。

[0060] 4、核岛事故解列工况：

[0061] 现有技术没有蓄热功能，没有解决当核岛突然故障甩负荷或停机时，锅炉如何调整负荷的问题。在本发明中，当核岛1突然故障甩负荷或停机时，在短时间内，锅炉一回路仍可继续运行，逐步降低负荷，并将这个过程中产生的热量通过气体-熔盐换热器9储存在熔盐中蓄热，蓄热的过程给锅炉跟随核岛甩负荷或停机提供了充足和安全的运行调整时间。

[0062] 在一些实施方式中，带基本负荷汽轮机2采用半速汽轮机，耦合用汽轮机采用全速汽轮机。由于带基本负荷汽轮机2采用的蒸汽是饱和蒸汽或干度大于0.9的湿蒸汽，而且带基本负荷汽轮机2额定容量较小，对节省投资影响不大，所以优选方案仍采用核电常用的半速汽轮机。而耦合用汽轮机，由于采用的蒸汽是高度过热的蒸汽，避免了湿蒸汽对叶片的侵蚀、腐蚀，故具备采用全速汽轮机的条件，而且如背景技术所介绍，全速汽轮机可以比半速汽轮机节省大量投资，故耦合用汽轮机优选采用全速汽轮机。

[0063] 实施例二

[0064] 在一个或多个实施方式中，公开了一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的系统，如图2所示，包括：核岛1、锅炉11、气体-熔盐换热器9、热熔盐罐6、冷熔盐罐7、冷熔盐泵8、过热蒸汽用热熔盐泵12、熔盐-过热蒸汽换热器4、带基本负荷汽轮机2、第一发电机3、耦合用汽轮机、第二发电机18、低压加热器、高压加热器14、除氧器19、凝汽器23、冷却塔26、循环水泵24、给水泵20等。

[0065] 核岛1包括核反应堆1-1、核岛一回路主泵1-3、蒸汽发生器1-2等。进入核岛1的给

水经过蒸汽发生器1-2加热后蒸发成为饱和蒸汽或干度大于0.9的湿蒸汽。

[0066] 其中，耦合用汽轮机包括耦合用汽轮机高压缸15和耦合用汽轮机低压缸17；耦合用汽轮机高压缸15的排汽直接进入耦合用汽轮机低压缸17做功，耦合用汽轮机低压缸17的排汽与凝汽器23连接。

[0067] 锅炉11与气体-熔盐换热器9连接，构成锅炉一回路，锅炉11通过燃烧化学能燃料(如煤、油、天然气等化石燃料，以及生物质、垃圾等可再生能源燃料等)将化学能转化成热能，并通过特殊的气体(如氦气、超临界二氧化碳等)将热能传递出来，在锅炉入口为低温气体(如氦气、超临界二氧化碳等)，在锅炉出口为高温气体(如氦气、超临界二氧化碳等)，气体的循环动力由位于锅炉入口的气体循环风机10提供。

[0068] 气体-熔盐换热器9与冷熔盐罐7和热熔盐罐6分别连接，冷熔盐罐7和热熔盐罐6分别连接熔盐-过热蒸汽换热器4，构成锅炉二回路；冷熔盐从冷熔盐罐7中经冷熔盐泵8打入气体-熔盐换热器9，经高温气体加热后成为热熔盐，热熔盐进入热熔盐罐6。热熔盐罐6中的热熔盐通过过热蒸汽用热熔盐泵12打入熔盐-过热蒸汽换热器4加热从核岛1出来的蒸汽，然后被从核岛1出来的蒸汽冷却后的冷熔盐进入冷熔盐罐7。

[0069] 循环水泵24入口接自冷却水池25，循环水泵24出口去凝汽器23冷却低压缸排汽，冷却低压缸排汽后的循环水受热升温，在冷却塔26降温后进入冷却水池25。冷却塔26降温原理与常规火电、核电的冷却塔26原理相同，例如采用冷却塔填料方式冷却。

[0070] 凝汽器23中的凝结水依次经过1#低压加热器21、2#低压加热器22到达除氧器19，除氧器19出口的给水经给水泵20和高压加热器14后进入核岛1，除氧器19中被除氧的水经给水泵20送至高压加热器14被高压抽汽加热，被高压加热器14中的高压抽汽加热后的给水进入核岛1，在核岛1中受热蒸发成为饱和蒸汽或干度大于0.9的湿蒸汽。高压加热器14的抽汽取自带基本负荷汽轮机2，1#低压加热器21和2#低压加热器22的抽汽取自耦合用汽轮机低压缸17，除氧器19加热用汽取自带基本负荷汽轮机2。

[0071] 需要说明的是，本领域习惯上以除氧器为界，除氧器之前称为凝结水，除氧器之后称为给水。

[0072] 核岛1出口的饱和蒸汽或者干度大于0.9的湿蒸汽分成两路，其中第一路接至带基本负荷汽轮机2，第二路接至熔盐-过热蒸汽换热器4。第一路饱和蒸汽或者干度大于0.9的湿蒸汽在带基本负荷汽轮机2中做功带动第一发电机3发电；第二路饱和蒸汽或者干度大于0.9的湿蒸汽在熔盐-过热蒸汽换热器4中被热熔盐加热成为过热蒸汽，过热蒸汽进入耦合用汽轮机高压缸15做功，耦合用汽轮机高压缸15的排汽进入耦合用汽轮机低压缸17做功，耦合用汽轮机的高压缸、低压缸做功带动第二发电机18发电。

[0073] 在核岛1与熔盐-过热蒸汽换热器4的连接管路上设置阀门2-2，在核岛1与带基本负荷汽轮机2的连接管路上设置阀门2-1。

[0074] 以上是正常耦合运行工况的工作原理。和现有技术相比更能体现本发明优势的是，本发明还能灵活而安全的适应几种典型的变工况：

[0075] 1、启动并耦工况：

[0076] 耦合系统启动及升负荷时，在启动及升负荷的第一阶段，阀门2-2关闭，阀门2-1打开，核岛1出口的饱和蒸汽或者干度大于0.9的湿蒸汽进入带基本负荷汽轮机2做功发电；在启动及升负荷的第二阶段，锅炉11启动，加热熔盐蓄热；在启动及升负荷的第三阶段，进入

并耦运行模式，当熔盐温度达到设定的要求值时，阀门2-1仍然打开，维持核岛基本负荷的蒸汽仍进入带基本负荷汽轮机2，同时阀门2-2也开启，进入核岛1的给水和从核岛1出来的蒸汽量增加，除了满足维持核岛基本负荷以外的蒸汽，通过阀门2-2进入熔盐-过热蒸汽换热器4进一步受热成为过热蒸汽，过热蒸汽进入耦合用汽轮机高压缸15中做功。

[0077] 2、锅炉解列工况：

[0078] 核岛的运行涉及核安全的问题，现有技术没有解决当锅炉突然停机时，耦合系统如何适应快速调整负荷的问题。在本发明中，锅炉11短时故障时，系统进入一级解耦运行模式，切除锅炉一回路，仅运行锅炉二回路，采用熔盐罐中的蓄热满足对从核岛1出来的蒸汽的加热要求，通过控制热熔盐的流量可逐步降低耦合系统整体的负荷，避免了负荷突降对核岛1的负荷冲击，保证了在锅炉11突然解列工况下核反应堆1-1运行的安全性。采用熔盐罐蓄热对于本发明的技术方案来讲，技术成熟可靠，而且由于熔盐流量可通过熔盐泵调节，故对于过热汽温的调节比较简单而且准确。

[0079] 3、熔盐系统解列工况：

[0080] 意外事故(如熔盐泵故障等)导致熔盐系统不能利用时，系统进入二级解耦运行模式，快速切除锅炉二回路，阀门2-2关闭，阀门2-1打开，核岛1出来的蒸汽只进入带基本负荷汽轮机2。为了使得熔盐维持液态、不凝固，通过电伴热来满足熔盐保温的要求，电伴热消耗的电能优先由带基本负荷汽轮机2带动第一发电机3发电提供，电网倒送电仅作为备用。

[0081] 同时，逐渐切除锅炉一回路：锅炉二回路可快速停止运行，由于锅炉升降负荷时的热惯性较大，本发明的锅炉一回路在短时间内仍可继续运行，逐步降低负荷，并将这个过程中产生的热量通过气体-熔盐换热器9储存在熔盐中蓄热，蓄热的过程为锅炉跟随核岛甩负荷或停机提供充足和安全的运行调整时间。

[0082] 4、核岛事故解列工况：

[0083] 现有技术没有蓄热功能，没有解决当核岛突然故障甩负荷或停机时，锅炉如何调整负荷的问题。在本发明中，当核岛1突然故障甩负荷或停机时，在短时间内，锅炉一回路仍可继续运行，逐步降低负荷，并将这个过程中产生的热量通过气体-熔盐换热器9储存在熔盐中蓄热，蓄热的过程给锅炉跟随核岛甩负荷或停机提供了充足和安全的运行调整时间。

[0084] 在一些实施方式中，带基本负荷汽轮机2采用半速汽轮机，耦合用汽轮机采用全速汽轮机。由于带基本负荷汽轮机2采用的蒸汽是饱和蒸汽或干度大于0.9的湿蒸汽，而且带基本负荷汽轮机2额定容量较小，对节省投资影响不大，所以优选方案仍采用核电常用的半速汽轮机。而耦合用汽轮机，由于采用的蒸汽是高度过热的蒸汽，避免了湿蒸汽对叶片的侵蚀、腐蚀，故具备采用全速汽轮机的条件，而且如背景技术所介绍，全速汽轮机可以比半速汽轮机节省大量投资，故耦合用汽轮机优选采用全速汽轮机。

[0085] 实施例三

[0086] 在一个或多个实施方式中，公开了一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的方法，包括：锅炉11通过燃烧化学能燃料(如煤、油、天然气等化石燃料，以及生物质、垃圾等可再生能源燃料等)将化学能转化成热能，并通过特殊的气体(如氦气、超临界二氧化碳等)将热能传递出来，在锅炉入口为低温气体(如温度低于500℃的氦气或者超临界二氧化碳等)，在锅炉出口为高温气体(如温度范围在500～700℃的氦气或者超临界二氧化碳等)，气体的循环动力由位于锅炉入口的气体循环风机10提供。

[0087] 给水在高压加热器14中加热后进入核岛1，在核岛1中受热蒸发成为饱和蒸汽或干度大于0.9的湿蒸汽，饱和蒸汽或干度大于0.9的湿蒸汽一部分进入带基本负荷汽轮机2做功，另一部分进入熔盐-过热蒸汽换热器4；

[0088] 冷熔盐从冷熔盐罐7中经冷熔盐泵8打入气体-熔盐换热器9，经高温气体加热后成为热熔盐，热熔盐进入热熔盐罐6。热熔盐罐6中的一部分热熔盐通过过热蒸汽用热熔盐泵12打入熔盐-过热蒸汽换热器4加热从核岛1出来的蒸汽，然后被从核岛1出来的蒸汽冷却后的冷熔盐进入冷熔盐罐7；热熔盐罐6中的另一部分热熔盐通过再热蒸汽用热熔盐泵13打入熔盐-再热蒸汽换热器5加热从耦合用汽轮机高压缸15出来的耦合用汽轮机高压缸15排汽，然后被从耦合用汽轮机高压缸15出来的耦合用汽轮机高压缸15排汽冷却后的冷熔盐进入冷熔盐罐7。耦合用汽轮机高压缸15的排汽在熔盐-再热蒸汽换热器5中被热熔盐加热成为再热蒸汽，再热蒸汽进入耦合用汽轮机中压缸16做功，耦合用汽轮机中压缸16的排汽进入耦合用汽轮机低压缸17做功，耦合用汽轮机的高压缸、中压缸、低压缸做功带动第二发电机18发电。

[0089] 和现有技术相比更能体现本发明优势的是，本发明还能灵活而安全的适应几种典型的变工况：

[0090] 1、启动并耦工况：

[0091] 耦合系统启动及升负荷时，在启动及升负荷的第一阶段，阀门2-2关闭，阀门2-1打开，核岛1出口的饱和蒸汽或者干度大于0.9的湿蒸汽进入带基本负荷汽轮机2做功发电；在启动及升负荷的第二阶段，锅炉11启动，加热熔盐蓄热；在启动及升负荷的第三阶段，进入并耦运行模式，当熔盐温度达到设定的要求值时，阀门2-1仍然打开，维持核岛基本负荷的蒸汽仍进入带基本负荷汽轮机2，同时阀门2-2也开启，进入核岛1的给水和从核岛1出来的蒸汽量增加，除了满足维持核岛基本负荷以外的蒸汽，通过阀门2-2进入熔盐-过热蒸汽换热器4进一步受热成为过热蒸汽，过热蒸汽进入耦合用汽轮机高压缸15中做功。

[0092] 2、锅炉解列工况：

[0093] 核岛的运行涉及核安全的问题，现有技术没有解决当锅炉突然停机时，耦合系统如何适应快速调整负荷的问题。在本发明中，锅炉11短时故障时，系统进入一级解耦运行模式，切除锅炉一回路，仅运行锅炉二回路，采用熔盐罐中的蓄热满足对从核岛1出来的蒸汽、从耦合用汽轮机高压缸15出来的耦合用汽轮机高压缸排汽的加热要求，通过控制热熔盐的流量可逐步降低耦合系统整体的负荷，避免了负荷突降对核岛1的负荷冲击，保证了在锅炉11突然解列工况下核反应堆1-1运行的安全性。采用熔盐罐蓄热对于本发明的技术方案来讲，技术成熟可靠，而且由于熔盐流量可通过熔盐泵调节，故对于过热汽温、再热汽温的调节比较简单而且准确。

[0094] 3、熔盐系统解列工况：

[0095] 意外事故(如熔盐泵故障等)导致熔盐系统不能利用时，系统进入二级解耦运行模式，快速切除锅炉二回路，阀门2-2关闭，阀门2-1打开，核岛1出来的蒸汽只进入带基本负荷汽轮机2。为了使得熔盐维持液态、不凝固，通过电伴热来满足熔盐保温的要求，电伴热消耗的电能优先由带基本负荷汽轮机2带动第一发电机3发电提供，电网倒送电仅作为备用。

[0096] 同时，逐渐切除锅炉一回路：锅炉二回路可快速停止运行，由于锅炉升降负荷时的热惯性较大，本发明的锅炉一回路在短时间内仍可继续运行，逐步降低负荷，并将这个过程

中产生的热量通过气体-熔盐换热器9储存在熔盐中蓄热，蓄热的过程为锅炉跟随核岛甩负荷或停机提供充足和安全的运行调整时间。

[0097] 4、核岛事故解列工况：

[0098] 现有技术没有蓄热功能，没有解决当核岛突然故障甩负荷或停机时，锅炉如何调整负荷的问题。在本发明中，当核岛1突然故障甩负荷或停机时，在短时间内，锅炉一回路仍可继续运行，逐步降低负荷，并将这个过程中产生的热量通过气体-熔盐换热器9储存在熔盐中蓄热，蓄热的过程给锅炉跟随核岛甩负荷或停机提供了充足和安全的运行调整时间。

[0099] 实施例四

[0100] 在一个或多个实施方式中，公开了一种基于两回路锅炉的核能耦合化学能发电的方法，包括：锅炉11通过燃烧化学能燃料(如煤、油、天然气等化石燃料，以及生物质、垃圾等可再生能源燃料等)将化学能转化成热能，并通过特殊的气体(如氦气、超临界二氧化碳等)将热能传递出来，在锅炉11入口为低温气体(如氦气、超临界二氧化碳等)，在锅炉11出口为高温气体(如氦气、超临界二氧化碳等)，气体的循环动力由位于锅炉11入口的气体循环风机10提供。

[0101] 给水在高压加热器14中加热后进入核岛1，在核岛1中受热蒸发成为饱和蒸汽或干度大于0.9的湿蒸汽，饱和蒸汽或干度大于0.9的湿蒸汽一部分进入带基本负荷汽轮机2做功，另一部分进入熔盐-过热蒸汽换热器4；

[0102] 冷熔盐从冷熔盐罐7中经冷熔盐泵8打入气体-熔盐换热器9，经高温气体加热后成为热熔盐，热熔盐进入热熔盐罐6。热熔盐罐6中的热熔盐通过过热蒸汽用热熔盐泵12打入熔盐-过热蒸汽换热器4加热从核岛1出来的蒸汽，然后被从核岛1出来的蒸汽冷却后的冷熔盐进入冷熔盐罐7；热熔盐罐6中的另一部分热熔盐通过再热蒸汽用热熔盐泵13打入熔盐-再热蒸汽换热器5加热从耦合用汽轮机高压缸15出来的耦合用汽轮机高压缸15排汽，然后被从耦合用汽轮机高压缸15出来的耦合用汽轮机高压缸15排汽冷却后的冷熔盐进入冷熔盐罐7。耦合用汽轮机高压缸15的排汽进入耦合用汽轮机低压缸17做功，耦合用汽轮机的高压缸、低压缸做功带动第二发电机18发电。

[0103] 和现有技术相比更能体现本发明优势的是，本发明还能灵活而安全的适应几种典型的变工况：

[0104] 1、启动并耦工况：

[0105] 耦合系统启动及升负荷时，在启动及升负荷的第一阶段，阀门2-2关闭，阀门2-1打开，核岛1出口的饱和蒸汽或者干度大于0.9的湿蒸汽进入带基本负荷汽轮机2做功发电；在启动及升负荷的第二阶段，锅炉11启动，加热熔盐蓄热；在启动及升负荷的第三阶段，进入并耦运行模式，当熔盐温度达到设定的要求值时，阀门2-1仍然打开，维持核岛基本负荷的蒸汽仍进入带基本负荷汽轮机2，同时阀门2-2也开启，进入核岛1的给水和从核岛1出来的蒸汽量增加，除了满足维持核岛基本负荷以外的蒸汽，通过阀门2-2进入熔盐-过热蒸汽换热器4进一步受热成为过热蒸汽，过热蒸汽进入耦合用汽轮机高压缸15中做功。

[0106] 2、锅炉解列工况：

[0107] 核岛的运行涉及核安全的问题，现有技术没有解决当锅炉突然停机时，耦合系统如何适应快速调整负荷的问题。在本发明中，锅炉11短时故障时，系统进入一级解耦运行模式，切除锅炉一回路，仅运行锅炉二回路，采用熔盐罐中的蓄热满足对从核岛1出来的蒸汽、

从耦合用汽轮机高压缸15出来的耦合用汽轮机高压缸排汽的加热要求，通过控制热熔盐的流量可逐步降低耦合系统整体的负荷，避免了负荷突降对核岛1的负荷冲击，保证了在锅炉11突然解列工况下核反应堆1-1运行的安全性。采用熔盐罐蓄热对于本发明的技术方案来讲，技术成熟可靠，而且由于熔盐流量可通过熔盐泵调节，故对于过热汽温、再热汽温的调节比较简单而且准确。

[0108] 3、熔盐系统解列工况：

[0109] 意外事故(如熔盐泵故障等)导致熔盐系统不能利用时，系统进入二级解耦运行模式，快速切除锅炉二回路，阀门2-2关闭，阀门2-1打开，核岛1出来的蒸汽只进入带基本负荷汽轮机2。为了使得熔盐维持液态、不凝固，通过电伴热来满足熔盐保温的要求，电伴热消耗的电能优先由带基本负荷汽轮机2带动第一发电机3发电提供，电网倒送电仅作为备用。

[0110] 同时，逐渐切除锅炉一回路：锅炉二回路可快速停止运行，由于锅炉升降负荷时的热惯性较大，本发明的锅炉一回路在短时间内仍可继续运行，逐步降低负荷，并将这个过程中产生的热量通过气体-熔盐换热器9储存在熔盐中蓄热，蓄热的过程为锅炉11跟随核岛1甩负荷或停机提供充足和安全的运行调整时间。

[0111] 4、核岛事故解列工况：

[0112] 现有技术没有蓄热功能，没有解决当核岛突然故障甩负荷或停机时，锅炉如何调整负荷的问题。在本发明中，当核岛1突然故障甩负荷或停机时，在短时间内，锅炉一回路仍可继续运行，逐步降低负荷，并将这个过程中产生的热量通过气体-熔盐换热器9储存在熔盐中蓄热，蓄热的过程给锅炉跟随核岛甩负荷或停机提供了充足和安全的运行调整时间。

[0113] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述，但并非对本发明保护范围的限制，所属领域技术人员应该明白，在本发明的技术方案的基础上，本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

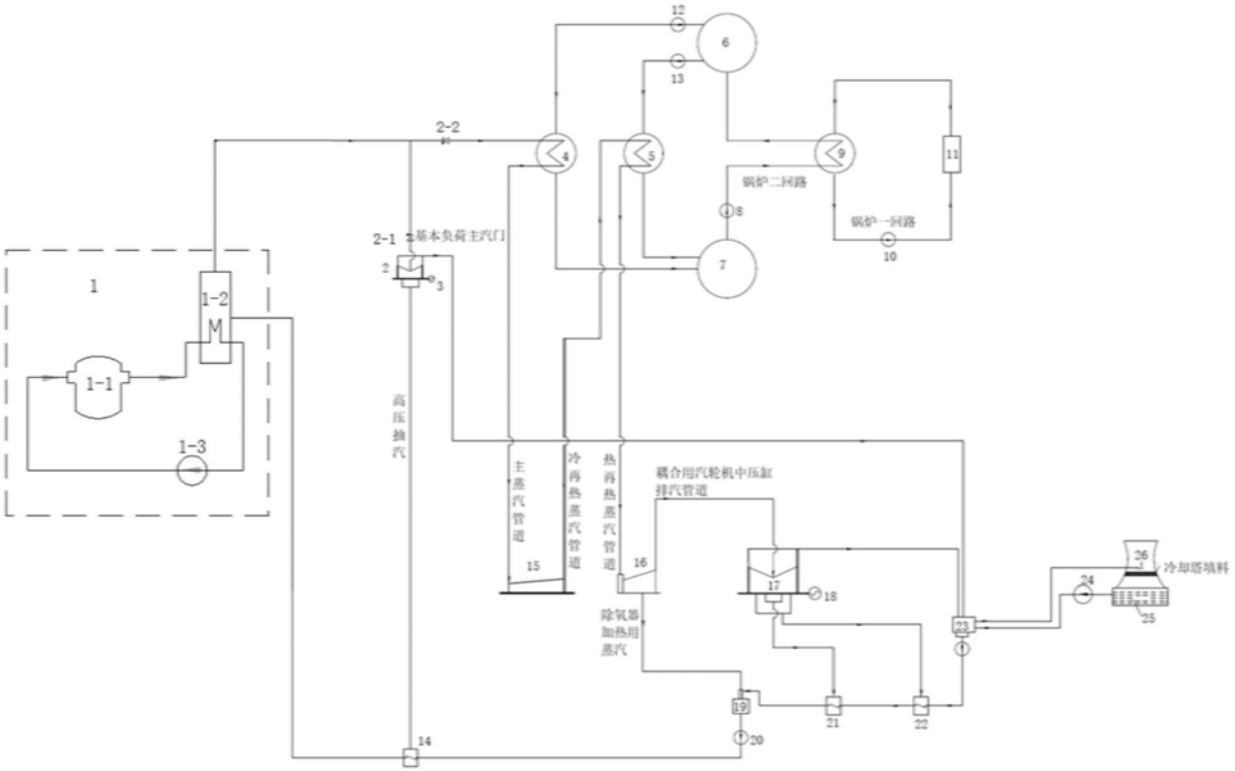

12
6
13
2-2
4
5
9
11
锅炉二回路
8
锅炉一回路
10
2-1
基本负荷主汽门
2
3
7
1
1-2
M
1-1
1-3
高压抽汽
主蒸汽管道
冷再热蒸汽管道
热再热蒸汽管道
耦合用汽轮机中压缸排汽管道
15
16
17
18
除氧器加热用蒸汽
19
20
21
22
23
24
26
冷却塔填料
25
14

图1

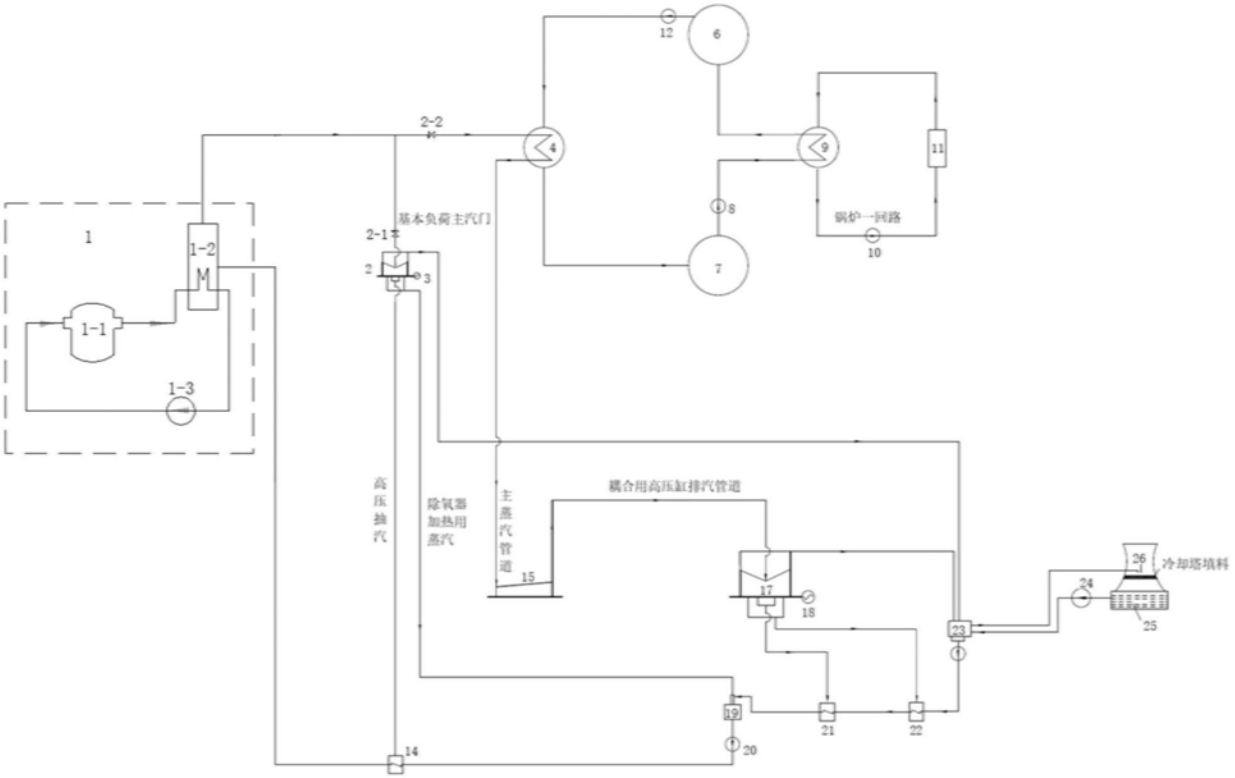

12
6
2-2
4
9
11
8
锅炉一回路
10
基本负荷主汽门
2-1
2
3
7
1
1-2
M
1-1
1-3
高压抽汽
除氧器加热用蒸汽
主蒸汽管道
耦合用高压缸排汽管道
15
17
18
19
20
21
22
23
24
26
冷却塔填料
25
14

图2