



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109026240 B

(45) 授权公告日 2021.03.16

(21) 申请号 201810997343.8

F01D 15/10 (2006.01)

(22) 申请日 2018.08.29

审查员 靳文强

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109026240 A

(43) 申请公布日 2018.12.18

(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騫路106号

(72) 发明人 刘义达 祁金胜 杨俊波 李官鹏

(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.

F01K 27/00 (2006.01)

F03G 6/06 (2006.01)

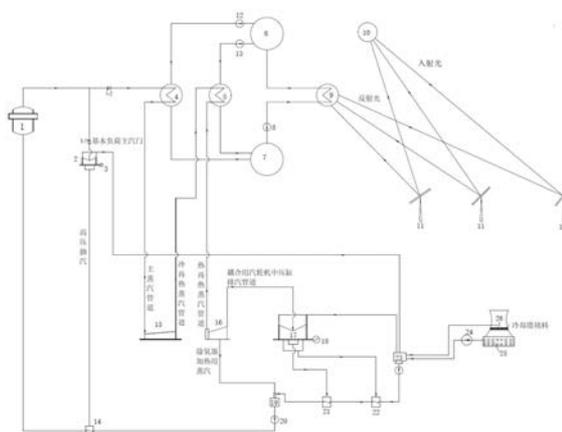
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

基于核能与太阳能耦合的发电系统和方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于核能与太阳能耦合的发电系统及方法,包括:太阳能吸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;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;本发明充分利用了核燃料运输方便、能量密度大等特点,以及太阳能聚光后可以产生800摄氏度以上的温度等特点,将从核岛出来的相对低温的蒸汽(通常在300℃以下)加热到400~700℃,大大提高了循环热效率,进而大大提高了发电效率。



1. 一种基于核能与太阳能耦合的发电系统,其特征在于,包括:冷却塔、凝汽器、除氧器、高压加热器、核岛、太阳能吸热器、冷熔盐罐、热熔盐罐、熔盐-过热蒸汽换热器、带基本负荷汽轮机和耦合用汽轮机;

太阳能吸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;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-再热蒸汽换热器的蒸汽出口与耦合用汽轮机中压缸的蒸汽入口连接;

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。

2. 如权利要求1所述的一种基于核能与太阳能耦合的发电系统,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;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所述的一种基于核能与太阳能耦合的发电系统,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所述的一种基于核能与太阳能耦合的发电系统,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。

5. 基于如权利要求1所述的一种基于核能与太阳能耦合的发电系统的发电方法,其特征在于,包括:

太阳能吸热器吸收太阳光加热太阳能吸热器中的熔盐,冷熔盐从冷熔盐罐中进入太阳能吸热器加热后成为热熔盐,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。

6. 如权利要求5所述的一种基于核能与太阳能耦合的发电系统的发电方法,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。

7. 如权利要求5所述的一种基于核能与太阳能耦合的发电系统的发电方法,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。

8. 如权利要求5所述的一种基于核能与太阳能耦合的发电系统的发电方法,其特征在  
于,

太阳光照不足时,采用热熔盐罐中的蓄热满足蒸汽加热需求;

太阳能不能利用时,核岛出来的饱和蒸汽或湿蒸汽只进入进带基本负荷汽轮机做功,  
不再进入熔盐-过热蒸汽换热器,通过电伴热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,电网倒送电作为备用。

## 基于核能与太阳能耦合的发电系统和方法

### 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核能与太阳能耦合的发电系统和方法。

### 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的做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大、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] 太阳能聚光型光热电站采用聚光镜将太阳的光能聚集成高能的光斑,进而加热吸热介质如水、导热油、熔盐等。吸热介质经过换热产生高温蒸汽,高温蒸汽推动汽轮机做功发电。目前的太阳能聚光型电站的工质水在从液态变化成气态的过程中,所吸收的热量均直接或间接来自太阳能;而对于以熔盐为储热介质的电站来讲,熔盐一旦冷凝成为固态,那么整套熔盐系统就作废,所以即使因为意外事故(如太阳能吸热器损坏、聚光镜控制系统故障等)导致太阳能聚光型光热电站不能发电,为了使得熔盐维持液态、不凝固,也要通过伴热(通常是电伴热)来满足熔盐保温的要求,这将消耗大量的电能,而且,如果太阳能聚光型光热电站不发电,还需要从电网买电来满足熔盐不凝固的要求,这对电网供电的安全性提出了很高的要求。因此,现在的太阳能聚光型光热电站通常都备有燃气或者燃油作为备用发电能源。

[0005] 对于一些偏远地区(如沙漠地区),太阳能光照较好,但往往没有燃气或燃油管道,这给太阳能聚光型光热电站的备用发电能源的供给带来了较大的困难,给项目增加了较多的投资。

### 发明内容

[0006] 本发明为了解决上述问题,提出了一种基于核能与太阳能耦合的发电系统和方

法,核燃料具有运输方便、能量密度大等特点,核能适合在偏远地区使用,因此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,又可以解决太阳能聚光型光热电站需要备用发电能源的问题。

[0007] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0008] 在一个或多个实施方式中公开的一种基于核能与太阳能耦合的发电系统,包括:冷却塔、凝汽器、除氧器、高压加热器、核岛、太阳能吸热器、冷熔盐罐、热熔盐罐、熔盐-过热蒸汽换热器、带基本负荷汽轮机和耦合用汽轮机;

[0009] 太阳能吸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;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了一种基于核能与太阳能耦合的发电方法,包括:

[0017] 太阳能吸热器吸收太阳光加热太阳能吸热器中的熔盐,冷熔盐从冷熔盐罐中进入太阳能吸热器加热后成为热熔盐,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,太阳光照不足时,采用热熔盐罐中的蓄热满足蒸汽加热需求;

[0023] 太阳能不能利用时,核岛出来的饱和蒸汽或湿蒸汽只进入进带基本负荷汽轮机做功,不再进入熔盐-过热蒸汽换热器,通过电伴热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,电网倒送电作为备用。

[0024] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:

[0025] 1、本发明特殊设计的一种基于核能与太阳能耦合的发电系统,充分利用了核燃料运输方便、能量密度大等特点,以及太阳能聚光后可以产生800摄氏度以上的光斑温度等特点,将从核岛出来的相对低温的蒸汽(通常在300℃以下)加热到400~700℃,大大提高了循环热效率,进而大大提高了发电效率。

[0026] 2、通过设置熔盐储罐,将不稳定的太阳能转化成为相对稳定的熔盐储能,进一步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。

[0027] 3、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,与现有常规太阳能聚光型光热电站相比,增强了熔盐系统的安全性。

[0028] 4、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

[0029] 5、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。

[0030] 6、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。

[0031] 7、核能、太阳能都属于清洁能源,污染物排放接近于零,对环境友好,与常规太阳能光热电站备用燃油或燃气相比,大幅降低了温室气体二氧化碳的排放。

## 附图说明

[0032] 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。

[0033] 图1为实施例一中基于核能与太阳能耦合的发电系统示意图;

[0034] 图2为实施例二中基于核能与太阳能耦合的发电系统示意图;

[0035] 其中,1.核岛,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.太阳能吸热器,10.太阳

光,11.聚光镜,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:

[0036] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0037] 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相同含义。

[0038] 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。

[0039] 实施例一

[0040] 在一个或多个实施方式中,公开了一种基于核能与太阳能耦合的发电系统,如图1所示,包括:冷却塔26、凝汽器23、除氧器19、高压加热器14、核岛1、太阳能吸热器9、热熔盐罐7、热熔盐罐6、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和耦合用汽轮机;

[0041] 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;耦合用汽轮机高压缸15的排汽进入熔盐-再热蒸汽换热器5被热熔盐加热后进入耦合用汽轮机中压缸16做功,耦合用汽轮机中压缸16的排汽进入到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。

[0042] 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、核电的冷却塔原理相同,例如采用冷却塔填料方式冷却。

[0043] 凝结水依次经过凝汽器23、1#低压加热器21、2#低压加热器22、除氧器19,再经给水泵20和高压加热器14后称为给水,给水进入核岛1;

[0044] 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。

[0045] 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。

[0046] 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。

[0047] 太阳能吸热器9经过冷熔盐泵8与冷熔盐罐7连接,太阳能吸热器9与热熔盐罐6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;

[0048] 聚光镜11把太阳光10反射到太阳能吸热器9上并加热太阳能吸热器9中的熔盐。太阳光的聚光集热系统既可以是塔式熔盐系统,也可以是槽式高温熔盐系统。冷熔盐从冷熔盐罐7中经冷熔盐泵8打入太阳能吸热器9,经聚光后的太阳能加热后成为热熔盐,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排汽冷却后的冷熔盐进入冷熔盐罐7。

[0049] 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1-2,在核岛1与带基本负荷汽轮机2的连接管路上设置阀门1-1。

[0050] 夜间或因云雨导致太阳光照不足时,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。熔盐罐对于太阳能光热电站来讲属于成熟技术,因此,采用熔盐罐蓄热对于本发明的技术方案来讲,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。

[0051] 意外事故(如太阳能吸热器损坏、聚光镜控制系统故障等)导致太阳能不能利用时,系统进入解耦运行模式,阀门1-2关闭,阀门1-1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。

[0052] 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。

[0053] 在启动的第一阶段,阀门1-2关闭,阀门1-1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;在启动的第二阶段,核岛1负荷开始提升,阀门1-1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1-2也开启,进入核岛1的给水和从核岛1出来的蒸汽量增加,除了维持核岛基本负荷以外的蒸汽,通过阀门1-2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做功。

[0054] 实施例二

[0055] 在一个或多个实施方式中,公开了一种基于核能与太阳能耦合的发电系统,如图2

所示,包括:冷却塔26、凝汽器23、除氧器19、高压加热器14、核岛1、太阳能吸热器9、冷熔盐罐7、热熔盐罐6、熔盐-过热蒸汽换热器4、带基本负荷汽轮机2和耦合用汽轮机;

[0056] 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。

[0057] 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、核电的冷却塔原理相同,例如采用冷却塔填料方式冷却。

[0058] 凝结水依次经过凝汽器23、1#低压加热器21、2#低压加热器22、除氧器19,再经给水泵20和高压加热器14后称为给水,给水进入核岛1。

[0059] 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。

[0060] 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。

[0061] 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的排汽直接进入耦合用汽轮机低压缸17做功,耦合用汽轮机的高压缸和低压缸做功带动第二发电机18发电。

[0062] 太阳能吸热器9经过冷熔盐泵8与冷熔盐罐7连接,太阳能吸热器9与热熔盐罐6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;

[0063] 聚光镜11把太阳光10反射到太阳能吸热器9上并加热太阳能吸热器9中的熔盐。冷熔盐从冷熔盐罐7中经冷熔盐泵8打入太阳能吸热器9,经聚光后的太阳能加热后成为热熔盐,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。

[0064] 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1-2,在核岛1与带基本负荷汽轮机2的连接管路上设置阀门1-1。

[0065] 夜间或因云雨导致太阳光照不足时,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。熔盐罐对于太阳能光热电站来讲属于成熟技术,因此,采用熔盐罐蓄热对于本发明的技术方案来讲,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。

[0066] 意外事故(如太阳能吸热器损坏、聚光镜控制系统故障等)导致太阳能不能利用时,系统进入解耦运行模式,阀门1-2关闭,阀门1-1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。

[0067] 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。

[0068] 在启动的第一阶段,阀门1-2关闭,阀门1-1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;在启动的第二阶段,核岛1负荷开始提升,阀门1-1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1-2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1-2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做功。

[0069] 实施例三

[0070] 在一个或多个实施方式中,公开了一种基于核能与太阳能耦合的发电方法,包括:

[0071] 太阳能吸热器9吸收太阳光10加热太阳能吸热器9中的熔盐,冷熔盐从冷熔盐罐7中进入太阳能吸热器9加热后成为热熔盐,热熔盐进入热熔盐罐6;

[0072] 给水被加热后进入核岛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;

[0073] 热熔盐罐6中的热熔盐进入熔盐-过热蒸汽换热器4加热从核岛1出来的饱和蒸汽或湿蒸汽后,冷却为冷熔盐进入冷熔盐罐7;进入熔盐-过热蒸汽换热器4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。

[0074] 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;过热蒸汽进入耦合用汽轮机高压缸15,耦合用汽轮机高压缸15的排汽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,带动发电机发电。

[0075] 在启动的第一阶段,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;在启动的第二阶段,核岛1负荷开始提升,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,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。

[0076] 夜间或因云雨导致太阳光照不足时,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。熔盐罐对于太阳能光热电站来讲属于成熟技术,因此,采用熔盐罐蓄热对于本发明的技术方案来讲,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。

[0077] 意外事故(如太阳能吸热器损坏、聚光镜控制系统故障等)导致太阳能不能利用时,系统进入解耦运行模式,核岛1出来的蒸汽只进入带基本负荷汽轮机2,不再进入熔盐-

过热蒸汽换热器4;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。

#### [0078] 实施例四

[0079] 在一个或多个实施方式中,公开了一种基于核能与太阳能耦合的发电方法,包括:

[0080] 太阳能吸热器9吸收太阳光10加热太阳能吸热器9中的熔盐,冷熔盐从冷熔盐罐7中进入太阳能吸热器9加热后成为热熔盐,热熔盐进入热熔盐罐6;

[0081] 给水被加热后进入核岛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;

[0082] 热熔盐罐6中的热熔盐进入熔盐-过热蒸汽换热器4加热从核岛1出来的饱和蒸汽或湿蒸汽后,冷却为冷熔盐进入冷熔盐罐7;进入熔盐-过热蒸汽换热器4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。

[0083] 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;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,带动发电机发电。

[0084] 在启动的第一阶段,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;在启动的第二阶段,核岛1负荷开始提升,维持核岛基本负荷的蒸汽仍进入带基本负荷汽轮机2,同时进入核岛1的给水和从核岛1出来的蒸汽量增加,除了维持核岛基本负荷以外的蒸汽,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。

[0085] 夜间或因云雨导致太阳光照不足时,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。熔盐罐对于太阳能光热电站来讲属于成熟技术,因此,采用熔盐罐蓄热对于本发明的技术方案来讲,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。

[0086] 意外事故(如太阳能吸热器损坏、聚光镜控制系统故障等)导致太阳能不能利用时,系统进入解耦运行模式,核岛1出来的蒸汽只进入带基本负荷汽轮机2,不再进入熔盐-过热蒸汽换热器4;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。

[0087] 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。

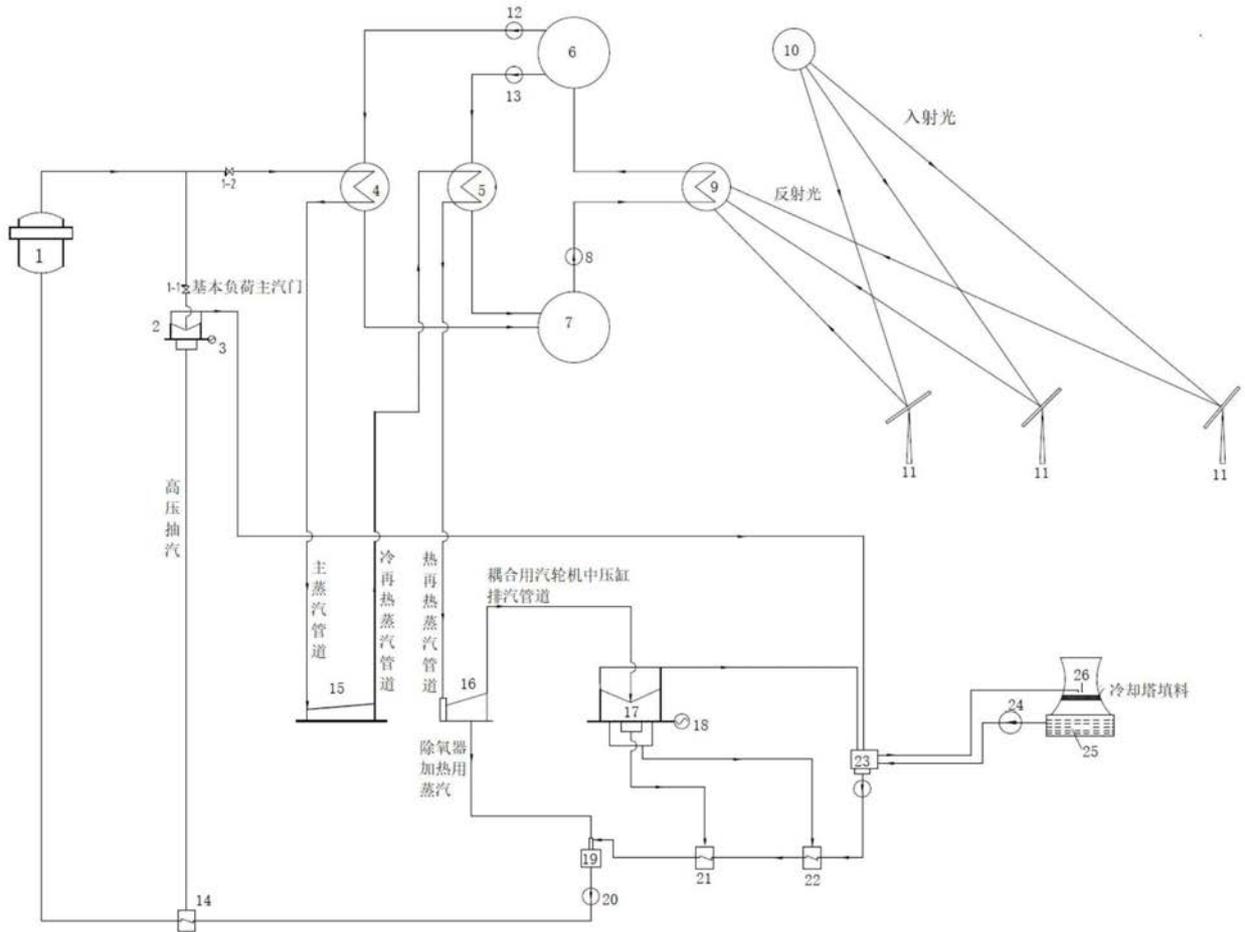


图1

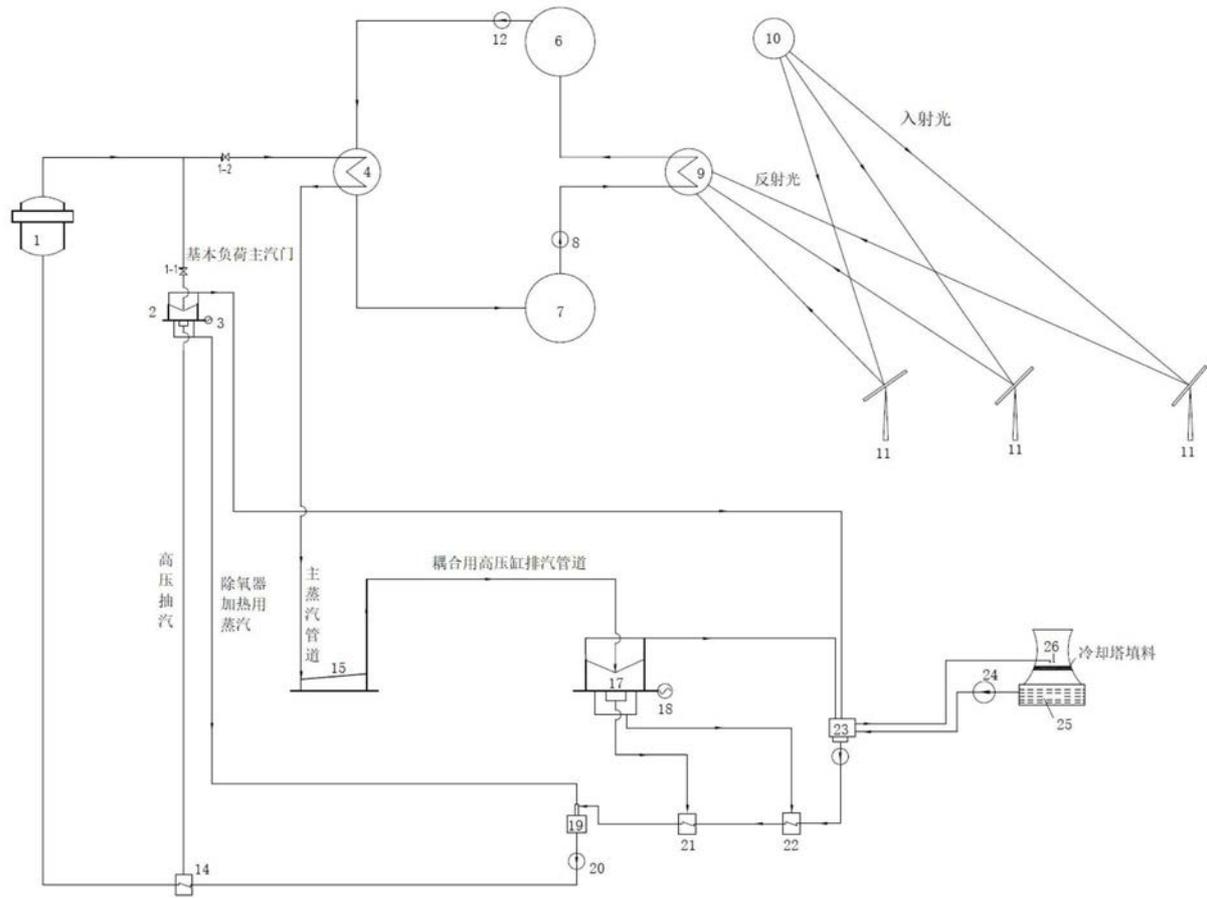


图2