



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115405390 B

(45) 授权公告日 2024.05.07

(21) 申请号 202211019984.9

F22B 1/02 (2006.01)

(22) 申请日 2022.08.24

F22B 33/18 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

F22D 1/50 (2006.01)

申请公布号 CN 115405390 A

F25B 15/06 (2006.01)

F25B 27/02 (2006.01)

(43) 申请公布日 2022.11.29

F28D 20/00 (2006.01)

(73) 专利权人 西安热工研究院有限公司

G21D 5/12 (2006.01)

地址 710048 陕西省西安市碑林区兴庆路
136号

C02F 103/08 (2006.01)

(72) 发明人 刘俊峰 韩伟 马晓珑 张瑞祥

李长海 令彤彤 康祯 吴寿贵

胡杨 罗鹏 祁沛垚 孙文钊

(56) 对比文件

CN 103115457 A, 2013.05.22

CN 114542218 A, 2022.05.27

CN 114738065 A, 2022.07.12

JP H1047015 A, 1998.02.17

WO 2021070041 A1, 2021.04.15

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任
公司 61200

专利代理师 李鹏威

贾海军, 姜胜耀, 吴少融, 李毅, 肖志, 李胜强, 仲朔平, 张佑杰, 杨巾农, 查美生, 薄涵亮. 双塔竖直蒸发管高温多效蒸发海水淡化实验系统. 清华大学学报(自然科学版). 2003, (第10期), 40-42+62.

(51) Int. Cl.

F01K 13/00 (2006.01)

F01K 3/00 (2006.01)

F01K 13/02 (2006.01)

F01D 15/10 (2006.01)

C02F 1/04 (2006.01)

审查员 韩秋方

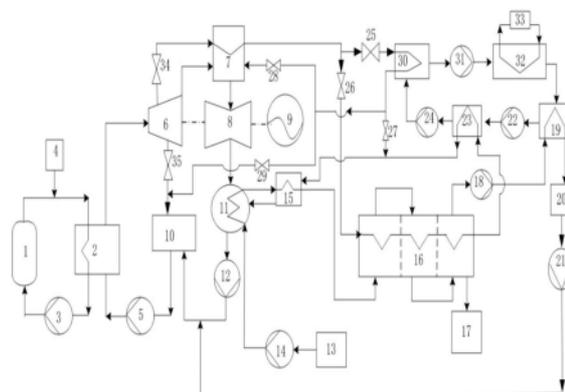
权利要求书3页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统及方法,所述系统包括压水堆一回路、二回路给水循环回路、发电回路、海水淡化回路、储能回路及制冷回路;其中,二回路给水循环回路与发电回路相连通,发电回路与海水淡化回路、储能和制冷回路相连通。本发明提供的系统能够实现压水堆发电、海水淡化和制冷的耦合运行,实现了能量的梯度综合利用,提高了压水堆运行经济性;同时通过储能系统保证了机组变工况瞬态运行的稳定性。



1. 一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统,其特征在于,包括:

反应堆(1)、蒸汽发生器(2)、一回路主泵(3)和稳压器(4),所述反应堆(1)的出口依次经所述稳压器(4)、所述蒸汽发生器(2)的一次侧、所述一回路主泵(3)与所述反应堆(1)的进口相连通;

汽轮机高中压缸(6)、汽水分离再热器(7)、汽轮机低压缸(8)、发电机(9)、除氧器(10)、凝汽器(11)和凝结水泵(12),所述蒸汽发生器(2)的二次侧出口与所述汽轮机高中压缸(6)的进口相连通,所述汽轮机高中压缸(6)的第一抽汽出口经第六调节阀(34)与所述汽水分离再热器(7)的管侧进口相连通,所述汽轮机高中压缸(6)的第二抽汽出口经第七调节阀(35)与所述除氧器(10)的汽侧进口相连通,所述除氧器(10)的水侧出口经给水泵(5)与所述蒸汽发生器(2)的二次侧进口相连通;所述汽轮机高中压缸(6)的排汽口与所述汽水分离再热器(7)的壳侧第一进口相连通,所述汽水分离再热器(7)的壳侧出口与所述汽轮机低压缸(8)的进口相连通,所述汽轮机低压缸(8)的出口与所述凝汽器(11)的壳侧第一进口相连通,所述凝汽器(11)的壳侧出口经凝结水泵(12)与所述除氧器(10)的水侧进口相连通;所述汽轮机低压缸(8)用于驱动所述发电机(9)进行发电;

第一加热器(15)、多效海水蒸馏装置(16)、低温熔盐储罐(19)、淡水储罐(20)、中温熔盐储罐(23)、高温熔盐储罐(30)和第二加热器(32),所述汽水分离再热器(7)的管侧出口分为管侧出口第一路和管侧出口第二路;所述管侧出口第一路经第一调节阀(25)与所述高温熔盐储罐(30)的管侧进口相连通,所述高温熔盐储罐(30)的管侧出口分为三路,第一路与第三调节阀(27)的进口相连通,第二路与第四调节阀(28)的进口相连通,第三路与第五调节阀(29)的进口相连通,第四调节阀(28)的出口与所述汽水分离再热器(7)的壳侧第二进口相连通,第五调节阀(29)的出口与第七调节阀(35)的出口相汇合;所述管侧出口第二路依次经第二调节阀(26)、所述多效海水蒸馏装置(16)的管侧与所述中温熔盐储罐(23)的管侧进口相连通;所述中温熔盐储罐(23)的管侧出口与第三调节阀(27)的出口相汇合后,经所述第一加热器(15)的壳侧与所述凝汽器(11)的壳侧第二进口相连通;所述凝汽器(11)的管侧进口用于输入海水,所述凝汽器(11)的管侧出口经所述第一加热器(15)的管侧与所述多效海水蒸馏装置(16)的管侧进口相连通;所述多效海水蒸馏装置(16)的顶部出口依次经真空泵(18)、所述低温熔盐储罐(19)的管侧与所述淡水储罐(20)的进口相连通,所述淡水储罐(20)的出口经淡水输送泵(21)与所述凝结水泵(12)的出口相汇合;所述低温熔盐储罐(19)的壳侧出口依次经低温熔盐输送泵(22)、所述中温熔盐储罐(23)的壳侧、中温熔盐输送泵(24)、所述高温熔盐储罐(30)的壳侧、高温熔盐输送泵(31)、所述第二加热器(32)的壳侧与所述低温熔盐储罐(19)的壳侧进口相连通。

2. 根据权利要求1所述的一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统,其特征在于,还包括:

海水储罐(13)和海水输送泵(14),所述海水储罐(13)的出口经所述海水输送泵(14)与所述凝汽器(11)的管侧进口相连通;

浓盐水储罐(17),所述浓盐水储罐(17)的进口与所述多效海水蒸馏装置(16)的底部出口相连通。

3. 根据权利要求1所述的一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统,其特征在于,还包括:

溴化锂双效式制冷装置(33),所述第二加热器(32)的管侧出口经所述溴化锂双效式制冷装置(33)与所述第二加热器(32)的管侧进口相连通。

4. 根据权利要求1所述的一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统,其特征在于,所述多效海水蒸馏装置(16)由三级蒸汽发生器组成;其中,上一效蒸汽发生器管侧顶部出口与下一效蒸汽发生器管侧顶部进口相连通;上一效蒸汽发生器管侧底部出口与下一效蒸汽发生器管侧底部进口相连通。

5. 一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法,其特征在于,基于权利要求1至4中任一项所述的压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统;所述压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法中,压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方式包括:

所述一回路主泵(3)输送的一回路冷却剂进入所述反应堆(1)中吸收堆芯产生的热量,再进入所述蒸汽发生器(2)的一次侧并与二次侧给水换热;换热后的一回路冷却剂再进入所述反应堆(1)中进行吸热;

所述给水泵(5)驱动所述除氧器(10)中给水进入所述蒸汽发生器(2)的二次侧中吸收热量;产生的蒸汽进入所述汽轮机高中压缸(6)中做功,所述汽轮机高中压缸(6)的排汽进入所述汽水分离再热器(7)中,所述汽轮机高中压缸(6)的一段抽汽通入所述汽水分离再热器(7)中加热汽轮机高中压缸(6)的排汽至过热蒸汽,再通入所述汽轮机低压缸(8)中做功并驱动所述发电机(9)进行发电;做功后的所述汽轮机低压缸(8)的排汽进入所述凝汽器(11)中冷凝后,再经所述凝结水泵(12)输送至所述除氧器(10),所述除氧器(10)加热汽源来自所述汽轮机高中压缸(6)的二段抽汽;

海水输送至所述凝汽器(11)中吸收所述汽轮机低压缸(8)的排汽热量进行初级加热,然后进入所述第一加热器(15)中吸热,再经过所述多效海水蒸馏装置(16)吸收所述汽轮机高中压缸(6)的一段抽汽热量,产生的海水蒸发液由真空泵(18)抽送至所述低温熔盐储罐(19)中,海水蒸发液进入所述低温熔盐储罐(19)中与低温熔盐换热后冷凝,冷凝水进入所述淡水储罐(20)中;

所述低温熔盐储罐(19)中的低温熔盐吸收海水蒸发液中的热量后,经低温熔盐输送泵(22)输送至所述中温熔盐储罐(23)中,吸收经所述多效海水蒸馏装置(16)加热后的余热成为中温熔盐,中温熔盐经中温熔盐输送泵(24)输送至所述高温熔盐储罐(30)中吸收所述汽水分离再热器(7)的蒸汽热量成为高温熔盐,高温熔盐经高温熔盐输送泵(31)输送至所述第二加热器(32)进行换热后成为低温熔盐,回至低温熔盐储罐(19)。

6. 根据权利要求5所述的一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法,其特征在于,所述压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法中,机组发电模式为主的运行方式包括:

第六调节阀(34)开启并调节汽轮机高中压缸(6)的二段抽汽供汽水分离再热器(7)加热汽源;第七调节阀(35)开启并调节汽轮机高中压缸(6)的一段抽汽供除氧器(10)加热汽源;调节第一调节阀(25)和第二调节阀(26)的开度,在满足发电机(9)电负荷达最大出力后,分配用于多效海水蒸馏装置(16)和高温熔盐储罐(30)的汽水分离再热器(7)加热蒸汽流量;由中温熔盐输送泵(24)变频调节高温熔盐储罐(30)中高温熔盐换热需求量;由高温熔盐输送泵(31)变频调节高温熔盐流量,获得最佳制冷出力;调节海水流量,依次经凝汽器

(11)、第一加热器(15)吸热后,与汽水分离再热器(7)供给多效海水蒸馏装置(16)的加热蒸汽流量相匹配,获得最佳海水淡化出力;

期间保持第四调节阀(28)、第五调节阀(29)关闭,且第三调节阀(27)开启。

7.根据权利要求5所述的一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法,其特征在于,所述压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法中,机组海水淡化模式为主的运行方式包括:

全开第二调节阀(26),使得用于多效海水蒸馏装置(16)的加热蒸汽流量最大;调节海水流量,依次经凝汽器(11)、第一加热器(15)吸热后,与汽水分离再热器(7)供给多效海水蒸馏装置(16)的加热蒸汽流量相匹配,获得最大的海水蒸发量;

调节第一调节阀(25)的开度,在满足发电机(9)电负荷最小出力的情况下,由低温熔盐输送泵(22)变频调节流量,获得中温熔盐储罐(23)的最佳换热量,由中温熔盐输送泵(24)变频调节流量,获得高温熔盐储罐(30)的最佳换热量,由高温熔盐输送泵(31)变频调节流量,获得最佳制冷量;

期间保持第四调节阀(28)、第五调节阀(29)关闭,且第三调节阀(27)、第六调节阀(34)和第七调节阀(35)开启。

8.根据权利要求5所述的一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法,其特征在于,所述压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法中,机组制冷模式为主的运行方式包括:

全开第一调节阀(25),使得用于高温熔盐储罐(30)的加热蒸汽流量最大,由高温熔盐输送泵(31)变频调节流量,输送至第二加热器(32)中进行换热,获得最大的制冷量;调节第二调节阀(26)的开度,在满足发电机(9)电负荷最小出力的情况下,调节海水流量,使得海水流量与汽水分离再热器(7)供给多效海水蒸馏装置(16)的加热蒸汽流量相匹配,获得最佳海水淡化出力;

期间保持第四调节阀(28)、第五调节阀(29)关闭,且第三调节阀(27)、第六调节阀(34)和第七调节阀(35)开启。

9.根据权利要求5所述的一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法,其特征在于,所述压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法中,机组变工况下稳定运行方式包括:

当机组启动、甩负荷或汽轮机异常工况下,第六调节阀(34)和第七调节阀(35)关闭;打开第一调节阀(25)、第四调节阀(28)和第五调节阀(29)并调节开度,汽轮机高中压缸(6)排汽经汽水分离再热器(7)后进入高温熔盐储罐(30)吸热;第四调节阀(28)开启并调节进入汽水分离再热器(7)的加热蒸汽流量,作为汽轮机低压缸(8)的补充蒸汽,使得发电机(9)负荷稳定;第五调节阀(29)开启并调节进入除氧器(10)的加热蒸汽流量,使得蒸汽发生器(2)进口给水温度稳定;淡水输送泵(21)启动并变频调节给水流量,维持除氧器(10)液位正常;

调节第二调节阀(26)开度,将汽水分离再热器(7)中剩余加热蒸汽用于多效海水蒸馏装置(16),调节海水流量,与汽水分离再热器(7)供给多效海水蒸馏装置(16)的加热蒸汽流量相匹配;由高温熔盐输送泵(31)变频调节高温熔盐流量,将高温熔盐储罐(30)中高温熔盐剩余热量引入第二加热器(32)中。

一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于核电技术领域,特别涉及一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统及方法。

背景技术

[0002] 大型压水堆核电厂因其功率密度高、结构紧凑、安全易控、技术成熟、造价和发电成本相对较低等特点,成为目前国际上最广泛采用的商用核电堆型。

[0003] 目前,国内外已投入商业用途的压水堆主要用于发电,随着核能综合利用概念的提出,基于压水堆的核能供热开展了示范工程建设。目前,尚无系统化的压水堆发电耦合海水淡化、制冷等多种能源的核能综合利用;需要强调的是,现有核电机组一般不参与电网调峰调频,多能耦合运行对核电机组的安全稳定运行具有一定的挑战性。

[0004] 综上所述,亟需一种新的核能综合利用系统。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统及方法,以解决上述存在的一个或多个技术问题。本发明提供的系统,可实现基于压水堆的多种能源体系综合利用;同时,通过储能系统能够保证系统运行的安全性。

[0006] 为达到上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0007] 本发明提供的一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统,包括:

[0008] 反应堆、蒸汽发生器、一回路主泵和稳压器,所述反应堆的出口依次经所述稳压器、所述蒸汽发生器的一次侧、所述一回路主泵与所述反应堆的进口相连通;

[0009] 汽轮机高中压缸、汽水分离再热器、汽轮机低压缸、除氧器、凝汽器、凝结水泵和发电机,所述蒸汽发生器的二次侧出口与所述汽轮机高中压缸的进口相连通,所述汽轮机高中压缸的第一抽汽出口经第六调节阀与所述汽水分离再热器的管侧进口相连通,所述汽轮机高中压缸的第二抽汽出口经第七调节阀与所述除氧器的汽侧进口相连通,所述除氧器的水侧出口经给水泵与所述蒸汽发生器的二次侧进口相连通;所述汽轮机高中压缸的排汽口与所述汽水分离再热器的壳侧第一进口相连通,所述汽水分离再热器的壳侧出口与所述汽轮机低压缸的进口相连通,所述汽轮机低压缸的出口与所述凝汽器的壳侧第一进口相连通,所述凝汽器的壳侧出口经凝结水泵与所述除氧器的水侧进口相连通;所述汽轮机低压缸用于驱动所述发电机进行发电;

[0010] 第一加热器、多效海水蒸馏装置、低温熔盐储罐、淡水储罐、中温熔盐储罐、高温熔盐储罐和第二加热器,所述汽水分离再热器的管侧出口分为管侧出口第一路和管侧出口第二路;所述管侧出口第一路经第一调节阀与所述高温熔盐储罐的管侧进口相连通,所述高温熔盐储罐的管侧出口分为三路,第一路与第三调节阀的进口相连通,第二路与第四调节阀的进口相连通,第三路与第五调节阀的进口相连通,第四调节阀的出口与所述汽水分离再热器的壳侧第二进口相连通,第五调节阀的出口与第七调节阀的出口相汇合;所述管侧

出口第二路依次经第二调节阀、所述多效海水蒸馏装置的管侧与所述中温熔盐储罐的管侧进口相连通；所述中温熔盐储罐的管侧出口与第三调节阀的出口相汇合后，经所述第一加热器的壳侧与所述凝汽器的壳侧第二进口相连通；所述凝汽器的管侧进口用于输入海水，所述凝汽器的管侧出口经所述第一加热器的管侧与所述多效海水蒸馏装置的管侧进口相连通；所述多效海水蒸馏装置的顶部出口依次经真空泵、所述低温熔盐储罐的管侧与所述淡水储罐的进口相连通，所述淡水储罐的出口经淡水输送泵与所述凝结水泵的出口相汇合；所述低温熔盐储罐的壳侧出口依次经低温熔盐输送泵、所述中温熔盐储罐的壳侧、中温熔盐输送泵、所述高温熔盐储罐的壳侧、高温熔盐输送泵、所述第二加热器的壳侧与所述低温熔盐储罐的壳侧进口相连通。

[0011] 本发明的进一步改进在于，还包括：

[0012] 海水储罐和海水输送泵，所述海水储罐的出口经所述海水输送泵与所述凝汽器的管侧进口相连通；

[0013] 浓盐水储罐，所述浓盐水储罐的进口与所述多效海水蒸馏装置的底部出口相连通。

[0014] 本发明的进一步改进在于，还包括：

[0015] 溴化锂双效式制冷装置，所述第二加热器的管侧出口经所述溴化锂双效式制冷装置与所述第二加热器的管侧进口相连通。

[0016] 本发明的进一步改进在于，所述多效海水蒸馏装置由三级蒸汽发生器组成；其中，上一效蒸汽发生器管侧顶部出口与下一效蒸汽发生器管侧顶部进口相连通；上一效蒸汽发生器管侧底部出口与下一效蒸汽发生器管侧底部进口相连通。

[0017] 本发明提供的一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法，基于本发明上述的压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统；所述压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法中，压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方式包括：

[0018] 所述一回路主泵输送的一回路冷却剂进入所述反应堆中吸收堆芯产生的热量，再进入所述蒸汽发生器的一次侧并与二次侧给水换热；换热后的一回路冷却剂再进入所述反应堆中进行吸热；

[0019] 所述给水泵驱动所述除氧器中给水进入所述蒸汽发生器的二次侧中吸收热量；产生的蒸汽进入所述汽轮机高中压缸中做功，所述汽轮机高中压缸的排汽进入所述汽水分离再热器中，所述汽轮机高中压缸的一段抽汽通入所述汽水分离再热器中加热汽轮机高中压缸的排汽至过热蒸汽，再通入所述汽轮机低压缸中做功并驱动所述发电机进行发电；做功后的所述汽轮机低压缸的排汽进入所述凝汽器中冷凝后，再经所述凝结水泵输送至所述除氧器，所述除氧器加热汽源来自所述汽轮机高中压缸的二段抽汽；

[0020] 海水输送至所述凝汽器中吸收所述汽轮机低压缸的排汽热量进行初级加热，然后进入所述第一加热器中吸热，再经过所述多效海水蒸馏装置吸收所述汽轮机高中压缸的一段抽汽热量，产生的海水蒸发液由真空泵抽送至所述低温熔盐储罐中，海水蒸发液进入所述低温熔盐储罐中与低温熔盐换热后冷凝，冷凝水进入所述淡水储罐中；

[0021] 所述低温熔盐储罐中的低温熔盐吸收海水蒸发液中的热量后，经低温熔盐输送泵输送至所述中温熔盐储罐中，吸收经所述多效海水蒸馏装置加热后的余热成为中温熔盐，中温熔盐经中温熔盐输送泵输送至所述高温熔盐储罐中吸收所述汽水分离再热器的蒸汽

热量成为高温熔盐,高温熔盐经高温熔盐输送泵输送至所述第二加热器进行换热后成为低温熔盐,回至低温熔盐储罐。

[0022] 本发明的进一步改进在于,所述压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法中,机组发电模式为主的运行方式包括:

[0023] 第六调节阀开启并调节汽轮机高中压缸的二段抽汽供汽水分离再热器加热汽源;第七调节阀开启并调节汽轮机高中压缸的一段抽汽供除氧器加热汽源;调节第一调节阀和第二调节阀的开度,在满足发电机电负荷达最大出力后,分配用于多效海水蒸馏装置和高温熔盐储罐的汽水分离再热器加热蒸汽流量;由中温熔盐输送泵变频调节高温熔盐储罐中高温熔盐换热需求量;由高温熔盐输送泵变频调节高温熔盐流量,获得最佳制冷出力;调节海水流量,依次经凝汽器、第一加热器吸热后,与汽水分离再热器供给多效海水蒸馏装置的加热蒸汽流量相匹配,获得最佳海水淡化出力;

[0024] 期间保持第四调节阀、第五调节阀关闭,且第三调节阀开启。

[0025] 本发明的进一步改进在于,所述压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法中,机组海水淡化模式为主的运行方式包括:

[0026] 全开第二调节阀,使得用于多效海水蒸馏装置的加热蒸汽流量最大;调节海水流量,依次经凝汽器、第一加热器吸热后,与汽水分离再热器供给多效海水蒸馏装置的加热蒸汽流量相匹配,获得最大的海水蒸发量;

[0027] 调节第一调节阀的开度,在满足发电机电负荷最小出力的情况下,由低温熔盐输送泵变频调节流量,获得中温熔盐储罐的最佳换热量,由中温熔盐输送泵变频调节流量,获得高温熔盐储罐的最佳换热量,由高温熔盐输送泵变频调节流量,获得最佳制冷量;

[0028] 期间保持第四调节阀、第五调节阀关闭,且第三调节阀、第六调节阀和第七调节阀开启。

[0029] 本发明的进一步改进在于,所述压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法中,机组制冷模式为主的运行方式包括:

[0030] 全开第一调节阀,使得用于高温熔盐储罐的加热蒸汽流量最大,由高温熔盐输送泵变频调节流量,输送至第二加热器中进行换热,获得最大的制冷量;调节第二调节阀的开度,在满足发电机电负荷最小出力的情况下,调节海水流量,使得海水流量与汽水分离再热器供给多效海水蒸馏装置的加热蒸汽流量相匹配,获得最佳海水淡化出力;

[0031] 期间保持第四调节阀、第五调节阀关闭,且第三调节阀、第六调节阀和第七调节阀开启。

[0032] 本发明的进一步改进在于,所述压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方法中,机组变工况下稳定运行方式包括:

[0033] 当机组启动、甩负荷或汽轮机异常工况下,第六调节阀和第七调节阀关闭;打开第一调节阀、第四调节阀和第五调节阀并调节开度,汽轮机高中压缸排汽经汽水分离再热器后进入高温熔盐储罐吸热;第四调节阀开启并调节进入汽水分离再热器的加热蒸汽流量,作为汽轮机低压缸的补充蒸汽,使得发电机负荷稳定;第五调节阀开启并调节进入除氧器的加热蒸汽流量,使得蒸汽发生器进口给水温度稳定;淡水输送泵启动并变频调节给水流量,维持除氧器液位正常;

[0034] 调节第二调节阀开度,将汽水分离再热器中剩余加热蒸汽用于多效海水蒸馏装

置,调节海水流量,与汽水分离再热器供给多效海水蒸馏装置的加热蒸汽流量相匹配;由高温熔盐输送泵变频调节高温熔盐流量,将高温熔盐储罐中高温熔盐剩余热量引入第二加热器中。

[0035] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0036] 本发明公开的压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统,将压水堆给水循环回路、发电回路、海水淡化回路、制冷以及储能系统回路有机结合,能够根据不同时期的用户需求,实现发电为主、海水淡化为主、制冷为主等运行方式的切换,即能够满足主循环回路能量优先利用原则,同时实现了储能系统回路与制冷回路的匹配运行,极大地提高了核能综合利用效率。另外,本发明充分利用海水吸收凝汽器的排汽余热,与常规电站使用循环水冷却凝汽器排汽的方式相比较,减少了冷源损失,同时将高温熔盐储罐中换热后的加热蒸汽引入第一加热器继续换热,实现了能量的梯度综合利用。

[0037] 本发明提供的方法中,在机组变工况运行时,能够利用储能系统回路快速供给汽水分离再热器和除氧器的加热汽源,利用海水淡化回路制备的淡水供给除氧器,有效避免蒸汽发生器进口给水温度、流量波动较大,以及发电机电负荷不稳定引起等问题,保证了机组的安全稳定运行。

附图说明

[0038] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图做简单的介绍;显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来说,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0039] 图1是本发明实施例提供的一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统的结构示意图;

[0040] 图中,1、反应堆;2、蒸汽发生器;3、一回路主泵;4、稳压器;5、给水泵;6、汽轮机高中压缸;7、汽水分离再热器;8、汽轮机低压缸;9、发电机;10、除氧器;11、凝汽器;12、凝结水泵;13、海水储罐;14、海水输送泵;15、第一加热器;16、多效海水蒸馏装置;17、浓盐水储罐;18、真空泵;19、低温熔盐储罐;20、淡水储罐;21、淡水输送泵;22、低温熔盐输送泵;23、中温熔盐储罐;24、中温熔盐输送泵;25、第一调节阀;26、第二调节阀;27、第三调节阀;28、第四调节阀;29、第五调节阀;30、高温熔盐储罐;31、高温熔盐输送泵;32、第二加热器;33、溴化锂双效式制冷装置;34、第六调节阀;35、第七调节阀。

具体实施方式

[0041] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分的实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都应当属于本发明保护的范畴。

[0042] 需要说明的是,本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用

的数据在适当情况下可以互换,以便这里描述的本发明的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外,术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形,意图在于覆盖不排他的包含,例如,包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元,而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0043] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述:

[0044] 请参阅图1,本发明实施例提供的一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统包括:反应堆1、蒸汽发生器2、一回路主泵3、稳压器4、给水泵5、汽轮机高中压缸6、汽水分离再热器7、汽轮机低压缸8、发电机9、除氧器10、凝汽器11、凝结水泵12、海水储罐13、海水输送泵14、第一加热器15、多效海水蒸馏装置16、浓盐水储罐17、真空泵18、低温熔盐储罐19、淡水储罐20、淡水输送泵21、低温熔盐输送泵22、中温熔盐储罐23、中温熔盐输送泵24、第一调节阀25、第二调节阀26、第三调节阀27、第四调节阀28、第五调节阀29、高温熔盐储罐30、高温熔盐输送泵31、第二加热器32、溴化锂双效式制冷装置33、第六调节阀34和第七调节阀35。

[0045] 本发明实施例中,核电站一回路包括反应堆1、稳压器4、蒸汽发生器2及一回路主泵3;其中,反应堆1的出口与蒸汽发生器2的一次侧进口相连接,蒸汽发生器2的一次侧出口与一回路主泵3的进口相连接,一回路主泵3的出口与反应堆1的进口相连接;反应堆1与蒸汽发生器2之间的管道上连接有稳压器4。

[0046] 本发明实施例中,发电回路包括给水泵5、汽轮机高中压缸6、汽水分离再热器7、汽轮机低压缸8、发电机9、除氧器10、凝汽器11、凝结水泵12、第一调节阀25、第二调节阀26、高温熔盐储罐30和多效海水蒸馏装置16;其中,蒸汽发生器2的二次侧与发电回路相连接,给水泵5的出口与蒸汽发生器2的二次侧进口相连接,蒸汽发生器2的二次侧出口与汽轮机高中压缸6的进口相连接;汽轮机高中压缸6的第一抽汽出口与第六调节阀34的进口相连接,第六调节阀34的出口与汽水分离再热器7的管侧进口相连接;汽轮机高中压缸6的第二抽汽出口与第七调节阀35的进口相连接,第七调节阀35的出口与除氧器10的汽侧进口相连接,除氧器10的水侧出口与给水泵5的进口相连接;汽轮机高中压缸6的排汽口与汽水分离再热器7的壳侧第一进口相连接,汽水分离再热器7的壳侧出口与汽轮机低压缸8的进口相连接,汽轮机低压缸8的第一出口与凝汽器11的壳侧第一进口相连接,凝汽器11的壳侧出口经凝结水泵12与除氧器10的水侧进口相连接;汽轮机低压缸8的第二出口与发电机9进口相连接;汽水分离再热器7的管侧出口分为两路;其中一路与第一调节阀25的进口相连接,第一调节阀25的出口与高温熔盐储罐30的管侧进口相连接,高温熔盐储罐30的管侧出口分为三路,第一路与第三调节阀27的进口相连接,第二路与第四调节阀28的进口相连接,第四调节阀28的出口与汽水分离再热器7的壳侧第二进口相连接,第三路与第五调节阀29的进口相连接,第五调节阀29的出口与第七调节阀35的出口相汇合;汽水分离再热器7的管侧出口另一路与第二调节阀26的进口相连接,第二调节阀26的出口与多效海水蒸馏装置16的管侧进口相连接,多效海水蒸馏装置16的管侧出口与中温熔盐储罐23的管侧进口相连接,中温熔盐储罐23的管侧出口与第三调节阀27的出口相汇合后,与第一加热器15壳侧进口相连接,第一加热器15壳侧出口与凝汽器11的壳侧第二进口相连接。

[0047] 本发明实施例中,所述储能、海水淡化与储能回路包括海水储罐13、海水输送泵

14、多效海水蒸馏装置16、第一加热器15、浓盐水储罐17、真空泵18、低温熔盐储罐19、低温熔盐输送泵22、中温熔盐储罐23、中温熔盐输送泵24、高温熔盐储罐30、高温熔盐输送泵31、第二加热器32和溴化锂双效式制冷装置33；

[0048] 海水储罐13的出口与海水输送泵14的进口相连通,海水输送泵14的出口与凝汽器11的管侧进口相连通,凝汽器11的管侧出口与第一加热器15的管侧进口相连通,第一加热器15的管侧出口与多效海水蒸馏装置16的管侧进口相连通,多效海水蒸馏装置16的底部出口与浓盐水储罐17的进口相连通,多效海水蒸馏装置16的顶部出口与真空泵18的进口相连通,真空泵18的出口与低温熔盐储罐19的管侧进口相连通,低温熔盐储罐19的管侧出口与淡水储罐20的进口相连通,淡水储罐20的出口与淡水输送泵21的进口相连通,淡水输送泵21的出口与凝结水泵12的出口管路相汇合；

[0049] 低温熔盐储罐19的壳侧出口与低温熔盐输送泵22的进口相连通,低温熔盐输送泵22的出口与中温熔盐储罐23的壳侧进口相连通,中温熔盐储罐23的壳侧出口与中温熔盐输送泵24的进口相连通,中温熔盐输送泵24的出口与高温熔盐储罐30的壳侧进口相连通,高温熔盐储罐30的壳侧出口与高温熔盐输送泵31的进口相连通,高温熔盐输送泵31出口与第二加热器32的壳侧进口相连通,第二加热器32的壳侧出口与低温熔盐储罐19的壳侧进口相连通,第二加热器32的管侧出口与溴化锂双效式制冷装置33进口相连通,溴化锂双效式制冷装置33出口与第二加热器32的管侧进口相连通。

[0050] 本发明实施例中,所述的多效海水蒸馏装置16由三级蒸汽发生器组成,上一效蒸汽发生器管侧顶部出口与下一效蒸汽发生器管侧顶部进口相连通,上一效蒸汽发生器管侧底部出口与下一效蒸汽发生器管侧底部进口相连通。

[0051] 本发明上述实施例提供的压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统的工作过程包括：

[0052] 1) 压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行方式时：

[0053] 一回路主泵3输送的一回路冷却剂进入反应堆1中吸收堆芯产生的热量,再进入蒸汽发生器2的一次侧与二次侧给水换热,然后再进入反应堆1中进行吸热,形成反应堆1的循环回路；其中,稳压器4用于一回路冷却剂调压；

[0054] 给水泵5驱动除氧器10中给水进入蒸汽发生器2的二次侧中吸收反应堆1循环回路热量；其中,产生的蒸汽进入汽轮机高中压缸6中做功,汽轮机高中压缸6的排汽进入汽水分离再热器7中,汽轮机高中压缸6的一段抽汽通入汽水分离再热器7中加热汽轮机高中压缸6的排汽至过热蒸汽,再通入汽轮机低压缸8中做功并驱动发电机9发电；做功后的汽轮机低压缸8的排汽进入凝汽器11中冷凝后,再经凝结水泵12输送至除氧器10,除氧器10加热汽源来自汽轮机高中压缸6的二段抽汽,形成二回路给水循环和发电回路；

[0055] 海水储罐13输出的海水经海水输送泵14输送至凝汽器11中吸收汽轮机低压缸8的排汽热量,进行初级加热后进入第一加热器中吸热,再经过多效海水蒸馏装置16中吸收汽轮机高中压缸6的一段抽汽热量,产生的蒸发液由真空泵18抽送至低温熔盐储罐19中,蒸发液进入低温熔盐储罐19中与低温熔盐换热后冷凝,冷凝水进入淡水储罐20中；多效海水蒸馏装置16中海水析出的结晶体主要为盐类物,最终排入浓盐水储罐17,用于工业盐原材料,以形成海水淡化回路；

[0056] 低温熔盐储罐19中低温熔盐吸收海水蒸发液中的热量后,经低温熔盐输送泵22输

送至中温熔盐储罐23中,继续吸收经多效海水蒸馏装置16加热后的余热,中温熔盐经中温熔盐输送泵24输送至高温熔盐储罐30中吸收汽水分离再热器7的蒸汽热量,高温熔盐经高温熔盐输送泵31输送至第二加热器32中,与溴化锂双效式制冷装置33进行换热后成为低温熔盐,回至低温熔盐储罐19,形成熔盐储能吸热和放热循环回路。

[0057] 2) 机组发电模式为主的运行方式时:

[0058] 第六调节阀34开启并调节高中压缸6二段抽汽供汽水分离再热器7加热汽源,第七调节阀35开启并调节高中压缸6一段抽汽供除氧器10加热汽源;调节第一调节阀25和第二调节阀26的开度,在满足发电机9电负荷达最大出力后,分配用于多效海水蒸馏装置16和高温熔盐储罐30的汽水分离再热器7加热蒸汽流量,再由中温熔盐输送泵24变频调节高温熔盐储罐30中高温熔盐换热需求量;由高温熔盐输送泵31变频调节高温熔盐流量,从而获得溴化锂双效式制冷装置33最佳制冷出力。由海水输送泵14变频调节海水流量,依次经凝汽器11、第一加热器15吸热后,与汽水分离再热器7供给多效海水蒸馏装置16的加热蒸汽流量相匹配,从而获得最佳海水淡化出力。

[0059] 期间保持第四调节阀28、第五调节阀29关闭,开启第三调节阀27并将高温熔盐储罐30中加热后蒸汽引入第一加热器15中加热海水,换热后通入凝汽器11壳体,实现能量梯级利用。

[0060] 3) 机组海水淡化模式为主的运行方式时:

[0061] 全开第二调节阀26,使得用于多效海水蒸馏装置16的加热蒸汽流量最大,由海水输送泵14变频调节海水流量,依次经凝汽器11、第一加热器15吸热后,与汽水分离再热器7供给多效海水蒸馏装置16的加热蒸汽流量相匹配,获得最大的海水蒸发量;调节第一调节阀25的开度,在满足发电机9电负荷最小出力的情况下,由低温熔盐输送泵22变频调节流量,获得中温熔盐储罐23的最佳换热量,由中温熔盐输送泵24变频调节流量,获得高温熔盐储罐30的最佳换热量,由高温熔盐输送泵31变频调节流量,获得溴化锂双效式制冷装置33的最佳制冷量。

[0062] 期间保持第四调节阀28、第五调节阀29关闭,第六调节阀34和第七调节阀35开启,开启第三调节阀27并将高温熔盐储罐30中加热后蒸汽引入第一加热器15中加热海水,换热后通入凝汽器11壳体,实现能量梯级利用。

[0063] 4) 机组制冷模式为主的运行方式时:

[0064] 全开第一调节阀25,使得用于高温熔盐储罐30的加热蒸汽流量最大,由高温熔盐输送泵31变频调节流量,输送至第二加热器32中与溴化锂双效式制冷装置33进行换热,获得最大的制冷量。调节第二调节阀26的开度,在满足发电机9电负荷最小出力的情况下,由海水输送泵14变频调节海水流量,使得海水流量与汽水分离再热器7供给多效海水蒸馏装置16的加热蒸汽流量相匹配,从而获得最佳海水淡化出力。

[0065] 期间保持第四调节阀28、第五调节阀29关闭,第六调节阀34和第七调节阀35开启,开启第三调节阀27并将高温熔盐储罐30中加热后蒸汽引入第一加热器15中加热海水,换热后通入凝汽器11壳体,实现能量梯级利用。

[0066] 5) 机组变工况下稳定运行方式时:

[0067] 当机组启动、甩负荷或汽轮机异常工况下,汽轮机高中压缸6抽汽丧失,第六调节阀34和第七调节阀35关闭,汽水分离再热器7和除氧器10失去加热汽源。打开第一调节阀

25、第四调节阀28和第五调节阀29并调节开度,汽轮机高中压缸6排汽经汽水分离再热器7后进入高温熔盐储罐30吸热,第四调节阀28开启并调节进入汽水分离再热器7的加热蒸汽流量,作为汽轮机低压缸8的补充蒸汽,使得发电机9负荷稳定;第五调节阀29开启并调节进入除氧器10的加热蒸汽流量,使得蒸汽发生器2进口给水温度稳定;淡水输送泵21启动并变频调节给水流量,维持除氧器液位正常,避免蒸汽发生器2进口给水温度、流量波动较大,以及发电机9电负荷不稳定引起的非正常停机事故。

[0068] 调节第二调节阀26开度,将汽水分离再热器7中剩余加热蒸汽用于多效海水蒸馏装置16,由海水输送泵14变频调节海水流量,与汽水分离再热器7供给多效海水蒸馏装置16的加热蒸汽流量相匹配。由高温熔盐输送泵31变频调节高温熔盐流量,将高温熔盐储罐30中高温熔盐剩余热量引入第二加热器32中,用于溴化锂双效式制冷装置制冷。

[0069] 综上所述,本发明上述实施例公开了一种压水堆发电、储能、海水淡化与制冷耦合运行系统及方法,所述系统包括压水堆一回路、二回路给水循环回路、发电回路、海水淡化回路、储能回路及制冷回路;其中,核电站二回路给水循环回路与发电回路相连通,发电回路与海水淡化回路、储能和制冷回路相连通。本发明实施例提供的系统能够实现压水堆发电、海水淡化和制冷的耦合运行,实现了能量的梯度综合利用,提高了压水堆运行经济性;同时通过储能系统保证了机组变工况瞬态运行的稳定性。

[0070] 本发明实施例方法的原理性说明:

[0071] 以AP1000核电机组为例,反应堆1热功率为3400MW,一回路主泵3输送的281℃的一回路冷却剂进入反应堆1中吸收堆芯产生的热量,一回路冷却剂温度升至321℃,再进入蒸汽发生器2的管侧与壳侧二回路给水进行换热,然后再进入反应堆1中进行吸热,形成反应堆1的循环回路;其中,稳压器4用于一回路冷却剂调压,使得一回路压力稳定在15.4MPa左右;

[0072] 给水泵5输送的227℃给水在蒸汽发生器2壳侧中吸收一回路冷却剂热量,给水经加热后发生相变,产生270.3℃的蒸汽依次经过汽轮机高中压缸6、汽轮机低压缸8做功,并驱动发电机9发电,最大发电功率为100MW;做功后的汽轮机高中压缸6的排汽进入汽水分离再热器7中与汽轮机高中压缸6第一级抽汽进行换热后,产生257℃的再热蒸汽;做功后的汽轮机低压缸8的排汽进入凝汽器11中冷凝,凝结水温度为45℃,再经凝结水泵12输送至除氧器10,除氧器10加热汽源来自汽轮机高中压缸6的第二级抽汽,第二级抽汽温度为180~200℃,形成二回路给水循环和发电回路;

[0073] 海水储罐13输出的20℃海水经海水输送泵14输送至凝汽器11中吸收汽轮机低压缸8的排汽热量,排汽温度为60~90℃,进行初级加热后海水温度升至70℃左右,进入第一加热器15中吸热,海水温度升至100℃以上,再经过多效海水蒸馏装置16中吸收汽轮机高中压缸6的第一级抽汽热量,抽汽温度为240~260℃,直至海水产生150℃以上的蒸发液,蒸发液由真空泵18抽送至低温熔盐储罐19中闪蒸,真空度为-20kPa左右。蒸发液进入低温熔盐储罐19中与低温熔盐换热后冷凝,冷凝水温度为50℃左右,进入淡水储罐20中,形成海水淡化回路;

[0074] 低温熔盐储罐19中低温熔盐温度为80~100℃,吸收150℃以上的海水蒸发液热量后,经低温熔盐输送泵22输送至中温熔盐储罐23中,继续吸收经多效海水蒸馏装置16加热后的余热,余热温度为180~200℃,中温熔盐温度为150~190℃,经中温熔盐输送泵24输送

至高温熔盐储罐30中吸收汽水分离再热器7的蒸汽热量,蒸汽温度为260℃左右,高温熔盐温度为220~250℃,经高温熔盐输送泵31输送至第二加热器32中,与溴化锂双效式制冷装置33进行换热,高温熔盐在溴化锂双效式制冷装置中放热后温度降至100℃以下,成为低温熔盐,回至低温熔盐储罐19,形成熔盐储能吸热和放热循环回路。

[0075] 本发明实施例中,中温熔盐储罐23中热量来自于多效海水蒸馏装置16加热后的余热,第一加热器15中热量来自于中温熔盐储罐23中余热,海水初级加热热量来自于汽轮机低压缸8的排汽热量,实现了能量的梯级利用。

[0076] 本发明实施例中,当机组启动、甩负荷或汽轮机异常工况下,汽轮机高中压缸6第一级和第二级抽汽丧失,汽水分离再热器7和除氧器11失去加热汽源。打开第一调节阀25、第四调节阀28和第五调节阀29并调节开度,汽轮机高中压缸6排汽经汽水分离再热器7后进入高温熔盐储罐30吸热,第四调节阀28开启并调节进入汽水分离再热器7的加热蒸汽流量,作为汽轮机低压缸8的补充蒸汽,使得发电机9负荷稳定;第五调节阀29开启并调节进入除氧器10的加热蒸汽流量,使得蒸汽发生器2进口给水温度稳定;利用高温熔盐储罐30的高温熔盐,温度为220~250℃加热给水泵5出口水温至227℃的正常运行温度,同时调节第一给水调节阀24的开度,使得蒸汽发生器2进口给水温度稳定。淡水输送泵21启动并将海水淡化后的50℃左右的淡水,变频调节并输送至给水泵12出口,维持除氧器10液位正常,避免蒸汽发生器2进口给水温度、流量波动较大,以及发电机9电负荷不稳定引起的非正常停机事故。

[0077] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,其均应涵盖在本发明的权利要求保护范围之内。

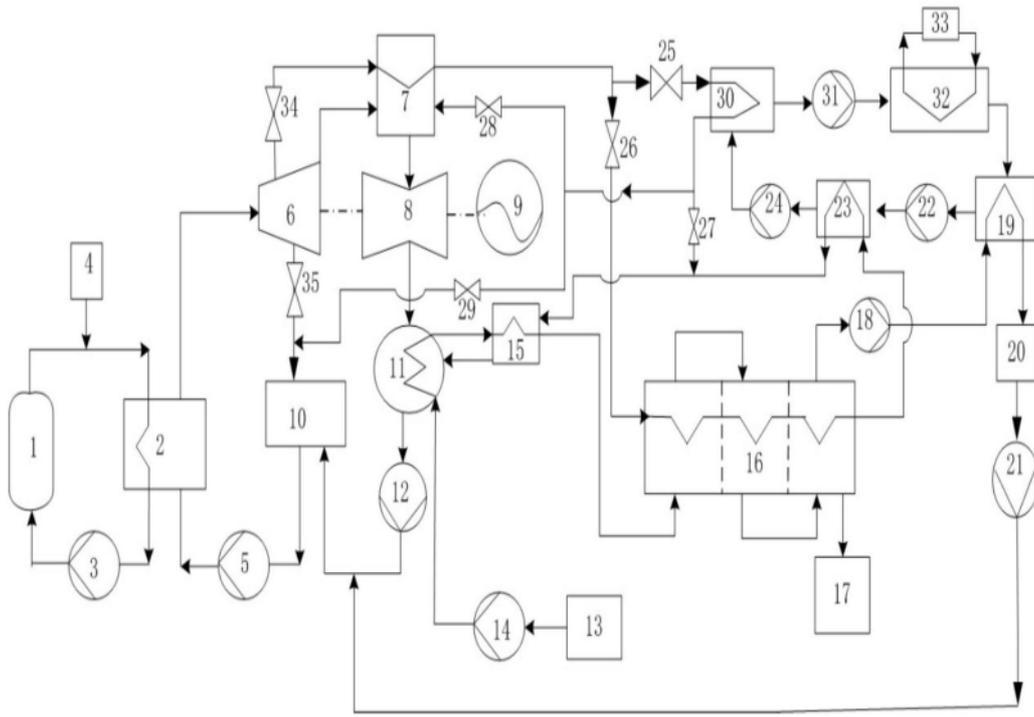


图1