



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 113738465 A

(43)申请公布日 2021. 12. 03

(21)申请号 202010472392.7

F01D 15/10(2006.01)

(22)申请日 2020.05.29

F01K 7/16(2006.01)

F24D 3/00(2006.01)

(71)申请人 国家电投集团科学技术研究院有限公司

地址 102209 北京市昌平区未来科技城国家电投集团科学技术研究院有限公司院内A座8层至11层

(72)发明人 张谨奕 王含 白宁 李京浩 张玮

(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

代理人 宋合成

(51)Int.Cl.

F01K 25/10(2006.01)

F01K 25/06(2006.01)

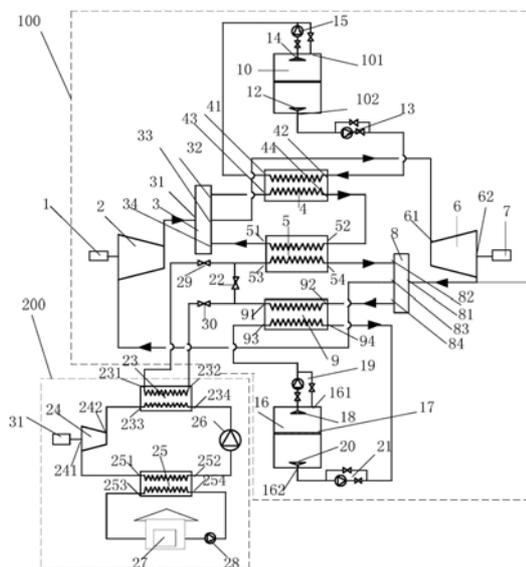
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

联合循环储能发电系统

(57)摘要

本发明公开了一种联合循环储能发电系统,联合循环储能发电系统包括斜温层储能发电系统和背压式发电系统,斜温层发电系统包括压缩机、透平、第一发电机、第一换向阀、熔盐罐、防冻液罐、熔盐换热器、中间换热器、第二换向阀和防冻液换热器,第一换向阀连接压缩机和透平,熔盐换热器连接熔盐罐和第一换向阀,中间换热器连接第一换向阀和熔盐换热器,中间换热器还与背压式发电系统相连,第二换向阀连接透平、中间换热器和压缩机,防冻液换热器与背压式发电系统相连,防冻液换热器还与第二换向阀相连。本发明实施例的联合循环储能发电系统提高了系统循环效率、储能密度、经济性,实现清洁低碳的闭式联合循环储能发电。



1. 一种联合循环储能发电系统,其特征在于,包括斜温层储能发电系统和背压式发电系统,所述斜温层发电系统包括:

压缩机;

透平和与所述透平相连的第一发电机;

第一换向阀,所述第一换向阀具有第一至第四阀口,所述第一换向阀的第一阀口与所述压缩机的出口相连,所述第一换向阀的第三阀口与所述透平的进口相连;

熔盐罐,所述熔盐罐具有第一熔盐口和第二熔盐口;

防冻液罐,所述防冻液罐具有第一防冻液口和第二防冻液口;

熔盐换热器,所述熔盐换热器具有第一至第四熔盐换热器口,所述第一熔盐换热器口与所述第一熔盐口相连,所述第二熔盐换热器口与所述第二熔盐口相连,所述第三熔盐换热器口与所述第一换向阀的第二阀口相连;

中间换热器,所述中间换热器具有第一至第四中间换热器口,所述第一中间换热器口与所述第一换向阀的第四阀口相连,所述第二中间换热器口与所述熔盐换热器的第四熔盐换热器口相连,所述第三中间换热器口通过第一阀门与所述背压式发电系统相连;

第二换向阀,第二换向阀具有第一至第四阀口,所述第二换向阀的第一阀口与所述透平的出口相连,所述第二换向阀的第二阀口与所述第四中间换热器口相连,所述第二换向阀的第三阀口与所述压缩机的进口相连;

防冻液换热器,所述防冻液换热器具有第一至第四防冻液换热器口,所述第一防冻液换热器口通过第二阀门与所述背压式发电系统相连,所述第二防冻液换热器口与所述第二换向阀的第四阀口相连,所述第三防冻液换热器口与所述第一防冻液口相连,所述第四防冻液换热器口与所述第二防冻液口相连,所述第三中间换热器口通过第三阀门与所述第一防冻液换热器口相连。

2. 根据权利要求1所述的联合循环储能发电系统,其特征在于,所述背压式发电系统包括膨胀机、与所述膨胀机相连的第二发电机、蒸发器和冷凝器,所述蒸发器具有第一至第四蒸发器口,所述冷凝器包括第一至第四冷凝器口,

所述第一蒸发器口通过所述第一阀门与所述第三中间换热器口相连,所述第二蒸发器口通过所述第二阀门与所述第一防冻液换热器口相连,所述第三蒸发器口与所述膨胀机的进口相连,所述第四蒸发器口与所述第二冷凝器口相连。

3. 根据权利要求2所述的联合循环储能发电系统,其特征在于,还包括用热装置,所述第三冷凝器口与所述用热装置的进口相连,所述第四冷凝器口与所述用热装置的出口相连。

4. 根据权利要求2所述的联合循环储能发电系统,其特征在于,所述第四蒸发器口与所述第二冷凝器口之间设有工质泵。

5. 根据权利要求1所述的联合循环储能发电系统,其特征在于,所述熔盐罐内设有邻近所述第一熔盐口的熔盐上分配器和邻近所述第二熔盐口的熔盐下分配器,所述防冻液罐内设有邻近所述第一防冻液口的防冻液上分配器和邻近所述第二防冻液口的防冻液下分配器。

6. 根据权利要求1所述的联合循环储能发电系统,其特征在于,所述第一熔盐口通过高温熔盐泵与所述第一熔盐换热器口相连,所述第二熔盐口通过低温熔盐泵与所述第二熔盐

换热器口相连，

所述第一防冻液口通过第一防冻液泵与所述第三防冻液换热器口相连，所述第二防冻液口通过第二防冻液泵与所述第四防冻液换热器口相连。

7. 根据权利要求1-6中任一项所述的联合循环储能发电系统，其特征在于，所述第一阀门和第二阀门在储能阶段关闭且所述第三阀门开启，所述第一阀门和第二阀门在发电阶段开启且所述第三阀门关闭。

## 联合循环储能发电系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于储能技术领域,具体地,涉及一种联合循环储能发电系统。

### 背景技术

[0002] 相关技术中,联合循环储能发电系统通过常温工作介质在储能时的循环模式是:压缩-通过第二蓄热体放热-膨胀做功-供暖-通过第一蓄热体吸热,供电时的循环模式是压缩-通过第二蓄热体吸热-膨胀做功-通过第一蓄热体放热-供暖。但是,相关技术在储能循环模式下无法采用单罐储能,否则存在不能完全储满热量和冷量,必须采用双罐储能,但是导致系统复杂,成本高,相关技术在供电循环模式下,为了维持作为高温热源的第二蓄热体和作为低温热源的第一蓄热体的温差和能量转换效率,需要提高第二蓄热体的温度,并且系统为开式循环,无法适用于氦气、氩气等循环工质。

### 发明内容

[0003] 本发明是基于发明人对以下事实和问题的发现和认识做出的:

[0004] 本申请的发明人通过研究和认识到,相关技术中,在储能循环模式下无法采用单罐储能,否则存在不能完全储满热量和冷量,必须采用双罐储能,但是导致系统复杂,成本高,相关技术在供电循环模式下,为了维持作为高温热源的第二蓄热体和作为低温热源的第一蓄热体的温差和能量转换效率,需要提高第二蓄热体的温度,并且系统为开式循环,无法适用于氦气、氩气等循环工质。

[0005] 文献申请号-CN201810180017.8公开了一种热泵式交替储能供电方法及装置,包括储能供热模式和供电供热模式。其特征在于通过两套蓄热系统分别在储能供热和供电供热模式下交替储能与释能达到储能与供电的作用。在采用储能供热模式时,常温工作介质通过第一蓄热系统等压吸热后,经过压缩机绝热压缩,再通过第二蓄热系统等压放热,后进入透平绝热膨胀对外做功,最后作为暖气源供应释放到外界;其装置则沿工作气体的走向依次串联有进气装置、第一换热器、第一蓄热系统、压缩机、第二换热器、第二蓄热系统、透平和出气装置。另一种模式则为供热供电模式。常温工作介质经过压缩机绝热压缩后,通过第二蓄热系统进行等压吸热,然后进入透平绝热膨胀对外做功,然后通过第一蓄热系统进行等压放热,最后作为暖气源供应释放到外界;在此过程中净输出的功用于供电。该发明的技术方案通过热泵式交替储能供电方法及其装置解决光伏发电以及风能发电中的弃风以及弃光问题以及峰谷电的削峰填谷问题,在储能和供电的同时供暖,并将废气的余热回收于另一蓄热系统中,提高了热功转换效率。

[0006] 但在文献CN201810180017.8中通过常温工作介质在储能(储电)时的循环模式是:压缩-放热(通过第二蓄热体)-膨胀做功-供暖-吸热(通过第一蓄热体);供电时的循环模式是:压缩-吸热(通过第二蓄热体)-膨胀做功-放热(通过第一蓄热体)-供暖。在储能循环模式下,如果采用单罐储能则不能完全储满热量和冷量;如果采用双罐储能,可储满热量和冷量;在供电循环模式下,为了维持作为高温热源的第二蓄热体和作为低温热源的第一蓄热

体的温差和能量转换效率,需提高第二蓄热体的温度;系统为开式循环,当循环工质为氦气、氩气等气体时不适用。

[0007] 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。为此,本发明的实施例提出一种联合循环储能发电系统,所述联合循环储能发电系统包括斜温层储能发电系统和背压式发电系统。所述斜温层发电系统包括:压缩机;透平和与所述透平相连的第一发电机;第一换向阀,所述第一换向阀具有第一至第四阀口,所述第一换向阀的第一阀口与所述压缩机的出口相连,所述第一换向阀的第三阀口与所述透平的进口相连;熔盐罐,所述熔盐罐具有第一熔盐口和第二熔盐口;防冻液罐,所述防冻液罐具有第一防冻液口和第二防冻液口;熔盐换热器,所述熔盐换热器具有第一至第四熔盐换热器口,所述第一熔盐换热器口与所述第一熔盐口相连,所述第二熔盐换热器口与所述第二熔盐口相连,所述第三熔盐换热器口与所述第一换向阀的第二阀口相连;中间换热器,所述中间换热器具有第一至第四中间换热器口,所述第一中间换热器口与所述第一换向阀的第四阀口相连,所述第二中间换热器口与所述熔盐换热器的第四熔盐换热器口相连,所述第三中间换热器口通过第一阀门与所述背压式发电系统相连;第二换向阀,第二换向阀具有第一至第四阀口,所述第二换向阀的第一阀口与所述透平的出口相连,所述第二换向阀的第二阀口与所述第四中间换热器口相连,所述第二换向阀的第三阀口与所述压缩机的进口相连;防冻液换热器,所述防冻液换热器具有第一至第四防冻液换热器口,所述第一防冻液换热器口通过第二阀门与所述背压式发电系统相连,所述第二防冻液换热器口与所述第二换向阀的第四阀口相连,所述第三防冻液换热器口与所述第一防冻液口相连,所述第四防冻液换热器口与所述第二防冻液口相连,所述第三中间换热器口通过第三阀门与所述第一防冻液换热器口相连。

[0008] 根据本发明实施例的联合循环储能发电系统,采用斜温层储能发电系统和联合背压式发电系统实现余热利用,提高了联合循环储能发电系统的效率,本发明采用单罐熔盐储热和单罐防冻液储冷,利用中间换热器降低压比,是一种高效和高储能密度的闭式循环储能发电系统,本发明普遍适用于火电厂调峰、低谷电利用、清洁供热、风电和光伏等可再生能源储电领域。本发明针对可再生能源不稳定和间歇性的特征,能够平抑风电或光伏发电等可再生能源发电的不稳定性,实现可再生能源电力稳定输出,具有平衡电力供需作用,能够实现大规模储能,发挥储能调峰优势,响应可再生能源储能需求。

[0009] 在一些实施例中,所述背压式发电系统包括膨胀机、与所述膨胀机相连的第二发电机、蒸发器和冷凝器,所述蒸发器具有第一至第四蒸发器口,所述冷凝器包括第一至第四冷凝器口,所述第一蒸发器口通过所述第一阀门与所述第三中间换热器口相连,所述第二蒸发器口通过所述第二阀门与所述第一防冻液换热器口相连,所述第三蒸发器口与所述膨胀机的进口相连,所述第四蒸发器口与所述第二冷凝器口相连。

[0010] 在一些实施例中,所述的联合循环储能发电系统还包括用热装置,所述第三冷凝器口与所述用热装置的进口相连,所述第四冷凝器口与所述用热装置的出口相连。

[0011] 在一些实施例中,所述第四蒸发器口与所述第二冷凝器口之间设有工质泵。

[0012] 在一些实施例中,所述熔盐罐内设有邻近所述第一熔盐口的熔盐上分配器和邻近所述第二熔盐口的熔盐下分配器,所述防冻液罐内设有邻近所述第一防冻液口的防冻液上分配器和邻近所述第二防冻液口的防冻液下分配器。

[0013] 在一些实施例中,所述第一熔盐口通过高温熔盐泵与所述第一熔盐换热器口相

连,所述第二熔盐口通过低温熔盐泵与所述第二熔盐换热器口相连,所述第一防冻液口通过第一防冻液泵与所述第三防冻液换热器口相连,所述第二防冻液口通过第二防冻液泵与所述第四防冻液换热器口相连。

[0014] 在一些实施例中,所述第一阀门和第二阀门在储能阶段关闭且所述第三阀门开启,所述第一阀门和第二阀门在发电阶段开启且所述第三阀门关闭。

[0015] 根据本发明实施例的斜温层循环储能发电系统和联合背压式发电系统,形成联合储能发电循环系统。本发明采用单罐熔盐储热和单罐防冻液储冷提高储能密度,利用中间换热器降低循环压比以及稳定系统高温端和低温端温度、联合背压式ORC发电系统实现整个系统的余热利用和稳定工况点,提高了系统循环效率、储能密度、经济性,确保了系统安全稳定运行,实现清洁低碳的闭式联合循环储能发电。

### 附图说明

[0016] 图1是根据本发明实施例的联合循环储能发电系统的充电阶段示意图。

[0017] 图2是根据本发明实施例的联合循环储能发电系统的发电阶段示意图。

[0018] 附图标记:

[0019] 斜温层储能发电系统100,背压式发电系统200,压缩机2,透平6,第一发电机7,熔盐斜温层11,熔盐下分配器12,低温熔盐泵13,熔盐上分配器14,高温熔盐泵15,防冻液斜温层17,防冻液上分配器18,第一防冻液泵19,防冻液下分配器20。第二防冻液泵21,第三阀门22,工质泵26,用热装置27,水泵28,第一阀门29,第二阀门30,第二发电机31,

[0020] 第一换向阀3,第一换向阀的第一阀口31,第一换向阀的第二阀口32,第一换向阀的第三阀口33,第一换向阀的第四阀口34,

[0021] 熔盐罐10,第一熔盐口101,第二熔盐口102,防冻液罐16,第一防冻液口161,第二防冻液口162,

[0022] 熔盐换热器4,第一熔盐换热器口41,第二熔盐换热器口42,第三熔盐换热器口43,第四熔盐换热器口44,

[0023] 中间换热器5,第一中间换热器口51,第二中间换热器口52,第三中间换热器口53,第四中间换热器口54,

[0024] 第二换向阀8,第二换向阀的第一阀口81,第二换向阀的第二阀口82,第二换向阀的第三阀口83,第二换向阀的第四阀口84,

[0025] 防冻液换热器9,第一防冻液换热器口91,第二防冻液换热器口92,第三防冻液换热器口93,第四防冻液换热器口94,

[0026] 膨胀机24,膨胀机的进口241,膨胀机的进口242,

[0027] 蒸发器23,第一蒸发器口231,第二蒸发器口232,第三蒸发器口233,第四蒸发器口234,

[0028] 冷凝器25,第一冷凝器口251,第二冷凝器口252,第三冷凝器口253,第四冷凝器口254。

### 具体实施方式

[0029] 下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出。下面通过参考

附图描述的实施例是示例性的,旨在用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

[0030] 如图1和图2所示,根据本发明实施例的联合循环储能发电系统,包括斜温层储能发电系统100和背压式发电系统200,斜温层发电系统100包括压缩机2、透平6、第一发电机7、第一换向阀3、熔盐罐10、防冻液罐16、熔盐换热器4、中间换热器5、第二换向阀8和防冻液换热器9。

[0031] 压缩机2的进口与电动机1相连。透平6的进口62与第一发电机相连。

[0032] 第一换向阀3具有第一至第四阀口,第一换向阀的第一阀口31与压缩机2的出口相连,第一换向阀的第三阀口33与透平6的进口相连;

[0033] 熔盐罐10具有第一熔盐口101和第二熔盐口102。防冻液罐16具有第一防冻液口161和第二防冻液口162。

[0034] 熔盐换热器4具有第一至第四熔盐换热器口,第一熔盐换热器口41与第一熔盐口101相连,第二熔盐换热器口42与第二熔盐口102相连,第三熔盐换热器口43与第一换向阀的第二阀口32相连。

[0035] 中间换热器5具有第一至第四中间换热器口,第一中间换热器口51与第一换向阀的第四阀口34相连,第二中间换热器口52与熔盐换热器4的第四熔盐换热器口44相连,第三中间换热器口53通过第一阀门29与背压式发电系统200相连。

[0036] 第二换向阀8具有第一至第四阀口,第二换向阀的第一阀口81与透平6的出口相连,第二换向阀的第二阀口82与第四中间换热器口54相连,第二换向阀的第三阀口83与压缩机2的进口相连;

[0037] 防冻液换热器9具有第一至第四防冻液换热器口,第一防冻液换热器口91通过第二阀门30与背压式发电系统200相连,第二防冻液换热器口92与第二换向阀的第四阀口84相连,第三防冻液换热器口93与第一防冻液口161相连,第四防冻液换热器口94与第二防冻液口162相连,第三中间换热器口53通过第三阀门22与第一防冻液换热器口91相连。

[0038] 背压式发电系统200包括膨胀机24、第二发电机31、蒸发器23和冷凝器25。

[0039] 蒸发器23具有第一至第四蒸发器口,冷凝器25包括第一至第四冷凝器口。第一蒸发器口231通过第一阀门29与第三中间换热器口53相连,第二蒸发器口232通过第二阀门30与第一防冻液换热器口91相连,第三蒸发器口233与膨胀机24的进口相连,第四蒸发器口234与第二冷凝器口252相连。

[0040] 联合循环储能发电系统还包括用热装置27,第三冷凝器口253与用热装置27的进口相连,第四冷凝器口254与用热装置27的出口相连。

[0041] 第四蒸发器口234与第二冷凝器口252之间设有工质泵26。

[0042] 熔盐罐10内设有邻近第一熔盐口101的熔盐上分配器14和邻近第二熔盐口102的熔盐下分配器12,防冻液罐16内设有邻近第一防冻液口161的防冻液上分配器18和邻近第二防冻液口162的防冻液下分配器20。

[0043] 第一熔盐口101通过高温熔盐泵15与第一熔盐换热器口41相连,第二熔盐口102通过低温熔盐泵13与第二熔盐换热器口42相连,第一防冻液口161通过第一防冻液泵19与第三防冻液换热器口93相连,第二防冻液口162通过第二防冻液泵21与第四防冻液换热器口94相连。

[0044] 第一阀门29和第二阀门30在储能阶段关闭且第三阀门22开启,第一阀门29和第二

阀门30在发电阶段开启且第三阀门22关闭。

[0045] 下面参考图1-2描述根据本发明一些具体示例性的联合循环储能发电系统。如图1-2所示,根据本发明实施例的联合循环储能发电系统包括以下四个装置。

[0046] 1、电-热/冷转换(装置),即储能循环阶段。

[0047] 斜温层储能发电系统100在储能阶段,气态工质进行布雷顿逆循环,利用电能驱动气态工质完成循环,将电能转化成热能和冷能的形式存储。开启压缩机2、第一换向阀3、熔盐换热器4、中间换热器5、透平6、第二换向阀8、防冻液换热器9、第三阀门22(全开)、中间换热器5、第二换向阀8至压缩机2回路,通过电力驱动电动机1带动压缩机2,压缩机2做功将电能转化成高温气态工质的能量。高温气态工质通过第一换向阀3首先流入熔盐换热器4时加热低温熔盐,成为中温气态工质,之后中温气态工质通过中间换热器5,加热压缩机2入口的低温气态工质,有效降低了压缩机2的压缩比、透平6的膨胀比,确保了热动设备效率及降低其设计制造难度,同时降低了由于储热装置(熔盐罐)和储冷装置(防冻液罐)的换热效率下降而导致的出口温度偏差,维持了斜温层储能发电系统100在储能阶段的运行稳定性。

[0048] 中温气态工质通过中间换热器5后流出,通过第一换向阀3后流向透平6,通过透平6膨胀后降温成为低温气态工质,低温气态工质通过第二换向阀8,首先流入防冻液换热器9,用于冷却防冻液,之后流入中间换热器5被加热,通过第二换向阀8后流向压缩机2,完成一个储能循环。

[0049] 其中气态工质具有低粘度、高热导率和比热容的特点。包括但不限于空气、氮气、氩气、其它惰性气体、二氧化碳、氢气、氧气或其组合的混合气体。

[0050] 在储能循环阶段,背压式发电系统200关闭。关闭第一阀门29,第二阀门30,开启第三阀门22。

[0051] 2、热/冷-电转换(装置)(与电-热/冷转换为同一套装置,为发电循环)。

[0052] 斜温层储能发电系统100在发电阶段,启动热/冷-电转换的动力循环,该过程为电-热/冷转换的逆过程,气态工质进行布雷顿循环,此时透平6做功大于压缩机2做功,驱动第一发电机7发电,系统向外界输出功用于供电。开启压缩机2-第一换向阀3-中间换热器5-熔盐换热器4-第一换向阀3-透平6-第二换向阀8-中间换热器5-第一阀门29(全开)-蒸发器23-第二阀门30(全开)-防冻液换热器9-第二换向阀8-压缩机2回路,低温气态工质被压缩机2压缩后,进入第一换向阀3,首先流经中间换热器5成为中温气态工质,再流经熔盐换热器4被加热,成为高温气态工质后,流入透平6膨胀做功。经透平6做功后的中温气态工质进入第二换向阀8,首先流经中间换热器5,加热压缩机2出口的低温气态工质,成为中低温气态工质,再流过蒸发器23放热,此后流经防冻液换热器9被冷却,被冷却后的低温气态工质流经第二换向阀8后,进入压缩机2入口,完成一轮发电循环。在发电阶段,通过中间换热器5,膨胀做功后的中温气态工质,加热压缩机出口的低温气态工质,有效降低了压缩机压缩比、透平的膨胀比,确保了热动设备效率和可靠性,确保了储热和储冷装置的入口温度稳定;通过设置蒸发器23,回收了中低温气态工质的余热,提高了整个系统循环效率,维持了系统在发电阶段的运行稳定性。

[0053] 3、储能装置

[0054] 储能装置为2个保温性能高的绝热罐,包括熔盐罐10和防冻液罐16及其附属的上下分配器、泵。热能以高温熔盐热能的形式储存在熔盐罐10,以低温防冻液冷能的形式储存

在防冻液罐16。在储能完成的时刻,熔盐罐10自上而下储满了高温熔盐、底部的低温熔盐完全排空;防冻液罐16自下而上储满了低温防冻液、上部的高温防冻液完全排空。

[0055] 采用冰点低于0℃的防冻液作为低温端储冷介质,防冻液工作温度区间可为-100℃~10℃,防冻液可为但不限于甲醇水溶液、乙醇水溶液、乙二醇水溶液、丙三醇水溶液、盐水溶液(氯化钙、氯化镁、硝酸钠、亚硝酸钠);采用低熔点盐(硝酸盐、氯盐)作为高温端储热介质,降低了熔盐凝固的风险以及系统对于熔盐防凝的要求;合理设计防冻液的工作温度,在保证系统能量转换效率的同时降低了系统高温端的温度,降低系统对于昂贵的耐高温设备/材料需求。

[0056] 储能循环阶段,储能装置的运行方式如下:

[0057] 低温熔盐泵13驱动低温熔盐从熔盐罐10的底部经熔盐下分配器12流出,流经熔盐换热器4,低温熔盐被加热成为高温熔盐,高温熔盐通过熔盐上分配器14,流入熔盐罐10的上部空间,通过熔盐上分配器14和下分配器12,确保熔盐斜温层11有效隔离上部高温熔盐和下部低温熔盐,当熔盐罐10储满高温熔盐后即完成系统高温端的储热。

[0058] 防冻液泵19驱动防冻液从防冻液罐16的上部空间,防冻液上分配器18内流出,流经防冻液换热器9,高温防冻液被冷却成为低温防冻液,经防冻液下分配器20后流向防冻液罐16的下部空间,通过防冻液上分配器18和下分配器20的设计,确保了防冻液斜温层17有效隔离上部高温防冻液和下部低温防冻液,当防冻液罐16储满低温防冻液后即完成系统低温端的储冷。

[0059] 发电循环阶段,储能装置的运行方式如下:

[0060] 高温熔盐泵15驱动高温熔盐从熔盐罐10的上部经熔盐上分配器14流出,流经熔盐换热器4,高温熔盐加热气态工质后成为低温熔盐,低温熔盐通过熔盐下分配器12,流入熔盐罐10的下部空间,通过熔盐上分配器14和12.下分配器,确保熔盐斜温层11有效隔离上部高温熔盐和下部低温熔盐,当熔盐罐10储满低温熔盐后即完成系统发电过程。

[0061] 防冻液泵21驱动防冻液从防冻液罐16的下部空间防冻液下分配器20内流出,流经防冻液换热器9,低温防冻液冷却气态工质,经防冻液上分配器18后流向防冻液罐16的上部空间,通过防冻液上分配器18和下分配器20的设计,确保了防冻液斜温层17有效隔离上部高温防冻液和下部低温防冻液,当防冻液罐16储满高温防冻液后即完成系统发电过程。

[0062] 在系统放电完成时刻,熔盐罐10自下而上储满了低温熔盐、上部的高温熔盐完全排空;防冻液罐16自上而下储满了高温防冻液、下部的低温防冻液完全排空。开始下一次储能发电循环。

[0063] 4、背压式发电系统

[0064] 在发电阶段,背压式发电系统开启,开启阀29和30,关闭阀22。系统进行发电循环,同时进行供热,利用斜温层储能发电系统100的余热作为蒸发器热源,膨胀机24做功驱动第二发电机31发电,系统对外供电;同时系统中冷凝器25.释放热量用于向用户装置27.供热。

[0065] 背压式发电系统回路蒸发器23-膨胀机24-冷凝器25-工质泵26-蒸发器23中,工质进行ORC动力循环,蒸发器23出口的工质蒸气进入膨胀机24.,焓降转变为膨胀机24的机械能,驱动第二发电机31发电。膨胀机24.出口的工质蒸气进入冷凝器25,冷凝放热成为液体,液态工质经过工质泵26.升压后再次进入蒸发器,气化后进入膨胀机31做功,完成一轮发电循环。背压式发电系统中,冷凝器25放热,加热循环水,循环水为厂房、控制室等用户装置27

进行供热。

[0066] 其中工质包括但不限于R12、R123、R125、R134a、R152a、R600a、R600、R290及其任何组合的混合工质。

[0067] 在储能阶段，背压式发电系统关闭。关闭阀29和30，开启阀22。

[0068] 联合循环储能发电系统包括基于布雷顿循环的斜温层储能发电系统，和基于ORC循环的背压式发电系统。其中斜温层储能发电系统采用单罐熔盐作为高温端储热介质，采用单罐防冻液作为低温端储冷介质，采用气态工质作为储能和发电循环的工质。背压式发电系统利用斜温层储能发电系统的余热驱动ORC动力循环，进行发电和供热。

[0069] 在储能阶段，斜温层储能发电系统进行储能循环，气态工质进行压缩-放热-膨胀做功-吸热的循环过程，压缩机做功大于透平做功，外界向系统输入电能后以热能和冷能的形式存储。气态工质从防冻液吸热、向熔盐放热。经压缩后的高温气态工质通过换热器加热低温熔盐成为高温熔盐，成为中温气态工质；中温气态工质通过中间热回收装置，加热压缩机入口的低温气态工质，有效降低了压缩机压缩比、透平膨胀比，确保了热动设备效率及降低其设计制造难度；降低了由于储热和储冷装置的换热效率下降而导致的出口温度偏差，维持了系统在储能阶段的运行稳定性。中温气态工质通过透平膨胀后降温成为低温气态工质，低温气态工质通过换热器冷却防冻液后，流入中间热回收装置，被加热后流入压缩机完成一个储能循环。在储能阶段，背压式发电系统关闭。

[0070] 储能装置运行方式是，在系统高温端，低温熔盐从熔盐罐下部空间流出，经换热器换热后成为高温熔盐，高温熔盐从熔盐罐上分配器流入熔盐罐的上部空间，进行储存。在系统低温端，高温防冻液从防冻液罐的上部空间流出，经换热器换热后成为低温防冻液，低温防冻液从防冻液罐下分配器流入防冻液罐下部空间，进行储存。在同一储罐内上下分配器的设计实现了通过斜温层有效隔离高温熔盐和低温熔盐、高温和低温防冻液，当储能完成后，熔盐罐中储满高温熔盐、防冻液罐储满低温防冻液，循环储电系统的高温端热量存储在熔盐罐、低温端热量存储在防冻液罐，高效地维持了系统高温端和低温端的温差。

[0071] 在发电阶段，斜温层储能发电系统进行发电循环，气态工质进行压缩-吸热-膨胀做功-放热的循环过程，气态工质从高温熔盐吸热、向防冻液放热，此时透平做功大于压缩机做功，驱动发电机发电，系统向外界净输出的功用于供电。低温气态工质通过压缩机压缩后进入换向阀，首先流经中间热回收装置成为中温气态工质，再流经熔盐换热器被加热，成为高温气态工质后，流入透平膨胀做功。经透平做功后的中温气态工质进入换向阀，首先流经中间热回收装置，加热压缩机出口的低温气态工质，成为中低温气态工质后再流经防冻液换热器被冷却，完成一个发电循环。在发电阶段，通过中间热回收装置，膨胀做功后的中温气态工质，加热压缩机出口的低温气态工质，有效降低了压缩机压缩比、透平的膨胀比，确保了热动设备效率和可靠性；同时确保了储热和储冷装置的入口温度稳定，维持了系统在发电阶段的运行稳定性。

[0072] 在发电阶段，背压式发电系统开启，进行发电循环，利用斜温层储能发电系统的余热作为蒸发器热源，蒸发器出口的工质蒸气进入膨胀机，焓降转变为膨胀机的机械能，驱动发电机发电。膨胀机出口的工质蒸气进入冷凝器，冷凝放热成为液体，液态工质经过工质泵升压后再次进入蒸发器，气化后进入膨胀机做功，完成一轮发电循环。背压式发电系统中，冷凝器放热，加热循环水，循环水为厂房等热用户进行供热。

[0073] 发电阶段储能装置运行方式是,高温熔盐从熔盐罐的上部空间流出,经换热器换热后流回熔盐罐的下部空间;低温防冻液从防冻液罐的下部空间流出,经换热器换热后流回防冻液罐的上部空间。当发电完成后,熔盐罐中储满低温熔盐、防冻液罐储满高温防冻液。单罐内上下分配器的设计实现了通过斜温层有效隔离高温熔盐和低温熔盐、高温和低温防冻液,使得在气态工质进行做功发电循环过程时,系统高温端和低温端的温度恒定,确保了系统能量转换效率。

[0074] 根据本发明实施例的联合循环储能发电系统具有以下有益技术效果。

[0075] 1.在储能阶段,斜温层储能发电系统的气态工质进行逆布雷顿循环,工质从防冻液吸热、向熔盐放热。通过熔盐上分配器14和下分配器12设计,确保了熔盐斜温层11有效隔离上部高温熔盐和下部低温熔盐,当熔盐罐10储满高温熔盐后即完成系统高温端储热;通过防冻液上分配器18和下分配器20的设计,确保了防冻液斜温层17有效隔离上部高温防冻液和下部低温防冻液,当防冻液罐16储满低温防冻液后即完成系统低温端储冷。该设计降低了斜温层运行时高/低温储能介质的掺混及斜温层增厚;在单罐内完成储热/储冷,提高储能密度、降低成本。

[0076] 2.在发电阶段,斜温层储能发电系统的气态工质进行布雷顿循环,工质从熔盐吸热、向防冻液放热。通过熔盐下分配器12和上分配器14设计,维持了系统高温端的温度恒定;通过防冻液上分配器18和下分配器20设计,维持了低温端的温度恒定。

[0077] 3.在发电阶段,联合了背压式发电系统进行ORC动力循环,回收了斜温层储能发电系统循环过程的中低温气态工质的余热,用于发电和供热,提高了联合循环效率、确保了系统工况点稳定、增强了系统的安全性和稳定性、提高了经济性。

[0078] 4.工质在储能和发电阶段均为闭式循环,无排放无污染,实现了清洁低碳、高效节能的储能和发电。

[0079] 5.斜温层储能发电系统采用压缩机-换热器-换向阀-回热器-透平组成的主要装置,通过第一换向阀3和第二换向阀8设计,实现同一套装置完成互逆的电-热/冷转换循环和热/冷-电转换循环,简化系统结构。

[0080] 6.通过中间换热器5,在储能阶段,储热系统出口的中温气态工质,用于加热压缩机入口的低温气态工质;在发电阶段,透平出口的高温气态工质则用于加热压缩机出口的低温气态工质。该设计降低了压缩机压缩比、透平的膨胀比,确保了热动设备效率、降低其设计制造难度;在储能阶段降低了由于储热和储冷装置的换热效率下降而导致的出口温度偏差;在发电阶段则确保了储热和储冷装置的入口温度稳定,从而维持了系统运行稳定性。

[0081] 7.采用熔盐作为储热介质,采用防冻液作为储冷介质。低压缩比的设计,使得系统无需极端高温和极端低温即能确保循环效率;降低系统高温端的温度,降低了系统对于耐高温设备/材料的需求,降低了系统成本。

[0082] 8.提供了一种普遍适用于火电调峰、平抑风电或光伏发电等可再生能源发电的不稳定性、移峰填谷、缓解弃风弃光问题、热电联供的储能发电方式。

[0083] 采用斜温层循环储能发电系统联合背压式发电系统,形成储能发电循环系统。采用单罐熔盐储热和单罐防冻液储冷,利用斜温层技术有效维持循环高温端和低温端的温差、提高储能密度;采用同一套装置,系统实现储能和发电;利用换向阀改变流向、中间热回收装置(中间换热器)适当降低压缩比以及稳定高温端和低温端温度。联合背压式ORC发电

系统实现整个系统的余热利用和稳定工况点,提高了系统循环效率、储能密度、经济性,确保了系统安全稳定运行,实现清洁低碳的闭式联合循环储能发电。

[0084] 通过同一套热动装置、单罐储热/冷装置、换热装置的正-逆循环,实现了系统结构简化、提高了储能密度、保证了能量转换效率,同时降低了热动设备成本和储能装置成本。

[0085] 通过根据本发明实施例的联合循环储能发电系统,实现平抑风电或光伏发电等可再生能源发电的不稳定性、可再生能源电力稳定输出、缓解弃风弃光问题、实现火电厂调峰、低谷电利用、清洁供热等。

[0086] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”、“轴向”、“径向”、“周向”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0087] 此外,术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本发明的描述中,“多个”的含义是至少两个,例如两个,三个等,除非另有明确具体的限定。

[0088] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或成一体;可以是机械连接,也可以是电连接或彼此可通讯;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系,除非另有明确的限定。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0089] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,第一特征在第二特征“上”或“下”可以是第一和第二特征直接接触,或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且,第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方,或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方,或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

[0090] 在本发明中,术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等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必须针对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一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0091] 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。

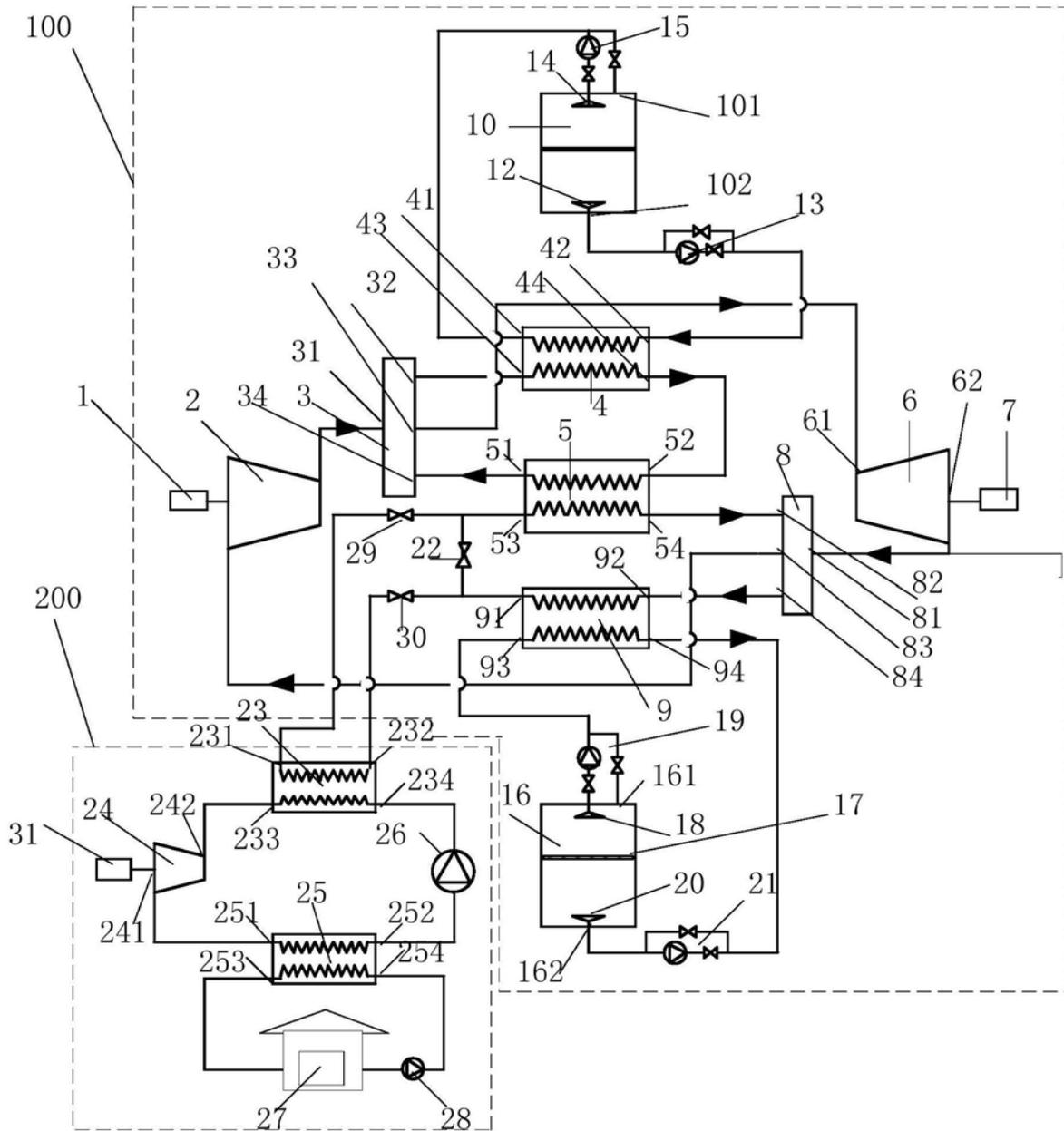


图1

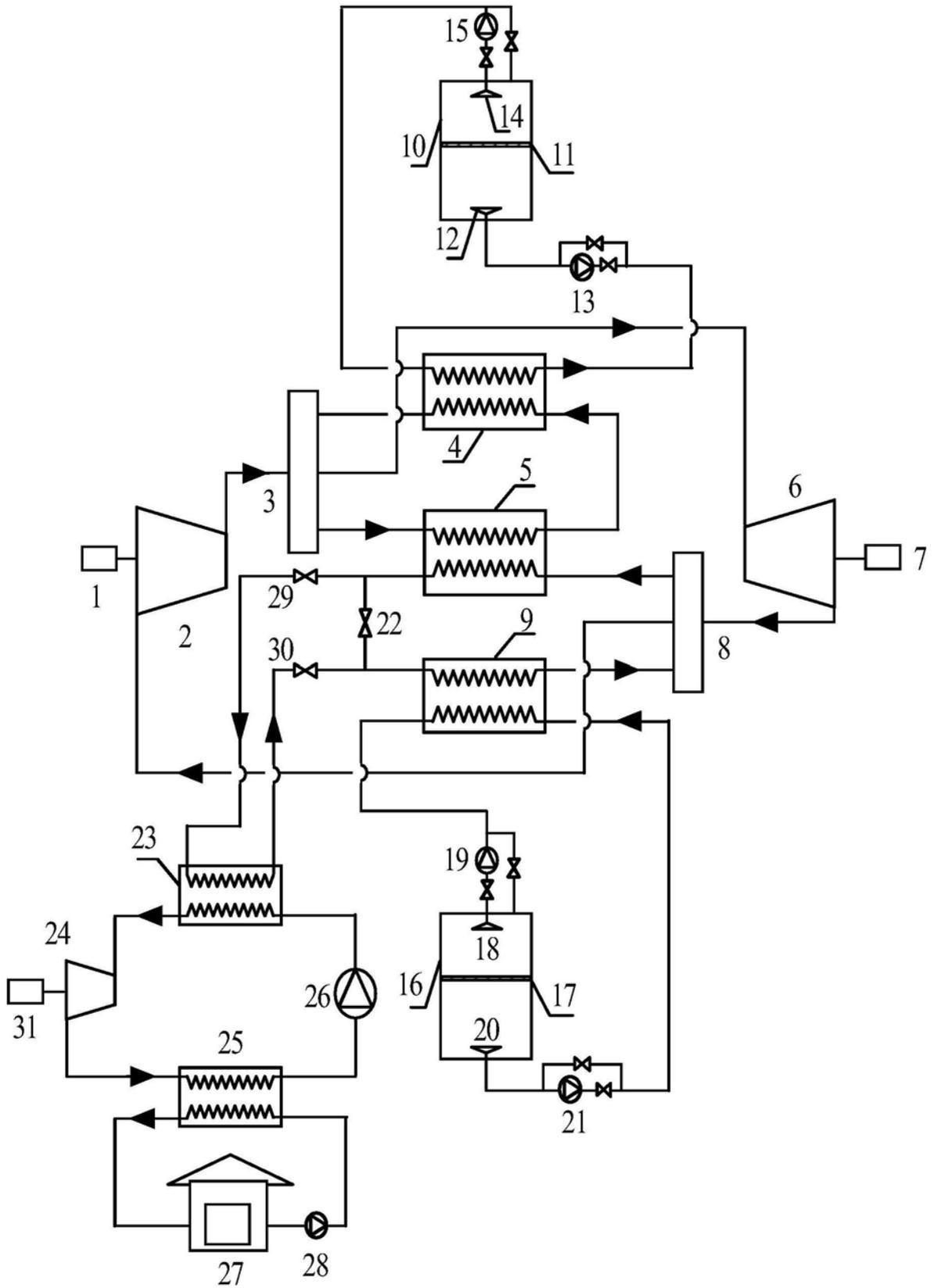


图2