



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114046556 B

(45) 授权公告日 2025. 01. 28

(21) 申请号 202111501912.3

(22) 申请日 2021.12.09

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114046556 A

(43) 申请公布日 2022.02.15

(73) 专利权人 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司
地址 102209 北京市昌平区北七家未来科技城华能人才创新创业基地实验楼A楼

(72) 发明人 蔡浩飞 彭烁 周贤 黄永琪
白烨 安航 王会

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限公司 61200
专利代理师 贺小婷

(51) Int.Cl.

F24D 3/18 (2006.01)
F24D 18/00 (2022.01)
F24D 19/00 (2006.01)
F01K 25/10 (2006.01)
F01K 7/32 (2006.01)
F01D 15/10 (2006.01)
G21D 1/02 (2006.01)
G21D 1/00 (2006.01)
F24D 101/10 (2022.01)

(56) 对比文件

CN 111322660 A, 2020.06.23

审查员 魏少平

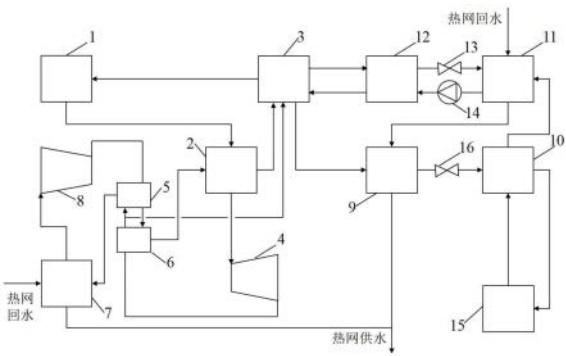
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置及方法

(57) 摘要

本发明提供一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置及方法,包括高温气冷堆、高温取热器、二氧化碳透平、二氧化碳循环单元和低温工业热源驱动单元,本发明首先利用高品位的高温气冷堆热量进行二氧化碳循环发电,进一步提高了发电效率,实现了高品位高温气冷堆热量的有效利用;利用发电后的温度为400℃左右的氦气余热和回热器中的高温二氧化碳驱动吸收式热泵中的发生器,实现了对低温工业余热品位的提升,提高了低温工业余热的利用效率;本装置中的二氧化碳发电系统体积紧凑,占地空间小,降低了高温气冷堆利用系统的整体体积和成本。



1. 一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置,其特征在于,包括高温气冷堆(1)、高温取热器(2)、二氧化碳透平(4)、二氧化碳循环单元和低温工业热源驱动单元,其中,高温气冷堆(1)的高温介质出口连接高温取热器(2)上设置的高温介质入口;所述高温取热器(2)上设置的超临界二氧化碳出口连接二氧化碳透平(4)的超临界二氧化碳入口;

所述二氧化碳透平(4)的低温二氧化碳出口连接二氧化碳循环单元的入口,所述二氧化碳循环单元上设置有热网回水入口、热网供水出口和二氧化碳出口,其中,所述二氧化碳出口连接高温取热器(2)上设置的二氧化碳入口;所述热网供水出口连接热网供水设备;

所述高温取热器(2)上设置的高温循环介质出口连接低温工业热源驱动单元上设置的高温循环介质入口,所述低温工业热源驱动单元上设置有热网回水入口和热网供水出口,其中,所述热网供水出口连接热网供水设备;

所述二氧化碳循环单元包括二氧化碳低温回热器(5)、二氧化碳高温回热器(6)、二氧化碳冷却器(7)和二氧化碳压缩机(8),其中,所述二氧化碳透平(4)的低温二氧化碳出口连接二氧化碳高温回热器(6)上设置的低温侧入口,所述二氧化碳高温回热器(6)上的低温侧出口分为两路,一路连接二氧化碳低温回热器(5)的低温侧入口,另一路连接低温工业热源驱动单元的二氧化碳入口;所述二氧化碳低温回热器(5)的低温侧出口连接二氧化碳冷却器(7)的二氧化碳入口,所述二氧化碳冷却器(7)的二氧化碳出口依次经过二氧化碳压缩机(8)和二氧化碳低温回热器(5)连接二氧化碳高温回热器(6);

所述二氧化碳冷却器(7)上设置有热网回水入口和热网供水出口,所述热网供水出口连接热网供水设备;

所述低温工业热源驱动单元包括发生器(3)、冷凝器(9)、蒸发器(10)、吸收器(11)和低温工业热源发生器(15),其中,所述发生器(3)上的二氧化碳入口连接二氧化碳循环单元的二氧化碳出口;所述发生器(3)上的蒸发溶剂出口连接冷凝器(9)的溶剂入口,所述冷凝器(9)上的冷凝溶剂出口连接蒸发器(10)的冷凝溶剂入口;

所述蒸发器(10)上的循环介质出入口连接低温工业热源发生器(15)的循环介质出入口;

所述吸收器(11)上设置有热网回水入口和热网回水出口,其中,所述热网回水出口连接冷凝器(9)上设置的热网水入口,所述冷凝器(9)上的热网供水出口连接热网供水设备;

所述蒸发器(10)上的气体出口连接吸收器(11)的气体入口。

2. 根据权利要求1所述的一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置,其特征在于,所述冷凝器(9)和蒸发器(10)之间设置有溶剂节流阀。

3. 根据权利要求1所述的一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置,其特征在于,所述发生器(3)的溶液出口经过溶液换热器(12)连接吸收器(11);

所述吸收器(11)上的稀溶液出口经过溶液换热器(12)连接发生器(3)的溶液入口。

4. 根据权利要求3所述的一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置,其特征在于,所述溶液换热器(12)浓溶液出口和吸收器(11)的入口之间设置有浓溶液膨胀阀(13)。

5. 根据权利要求4所述的一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置,其特征在于,所述溶液换热器(12)稀溶液入口和吸收器(11)的稀溶液出口之间设置有溶液泵(14)。

6. 一种高温气冷堆梯级利用的发电供热方法,其特征在于,基于权利要求1-5中任一项所述的装置,包括以下步骤:

通过高温气冷堆的热量将二氧化碳加热形成超临界二氧化碳;利用超临界二氧化碳进行发电;

利用超临界二氧化碳冷却后的余热以及放热后的高温气冷堆热量结合低温工业热源作为低温驱动热源对热网回水进行加热;

高温介质在高温气冷堆(1)吸收高温气冷堆反应堆的高温热量后进入高温取热器(2);

从二氧化碳高温回热器(6)来的高压二氧化碳流体在高温取热器(2)吸热后,进入二氧化碳透平(4)做功发电;

之后低温二氧化碳回到二氧化碳高温回热器(6)中进行换热,换热后的一部分低温二氧化碳依次进入二氧化碳低温回热器(5)和二氧化碳冷却器(7)中,被低温的热网回水进行冷却;冷却后的二氧化碳进入二氧化碳压缩机(8),被加压后的二氧化碳依次进入二氧化碳低温回热器(5)和二氧化碳高温回热器(6)中进行换热,然后进入高温取热器(2);

另一部分低温二氧化碳进入低温工业热源单元,利用放热后的高温气冷堆热量结合低温工业热源作为低温驱动热源对热网回水进行加热;

高温循环介质在高温取热器(2)内向二氧化碳放热后进入发生器(3),同时,由二氧化碳循环单元出来的另一部分二氧化碳也进入发生器(3)中;

发生器(3)内的盐溶液受到高温介质的加热,溶液中的溶剂蒸发,溶液浓度升高;其中,蒸发后的溶剂进入到冷凝器(9)中冷凝为液体,放出热量被从吸收器(11)来的热网水吸收;

冷凝后的溶剂进入蒸发器(10),在蒸发器(10)内进一步受到来自低温工业热源发生器(15)的低温循环介质的加热,蒸发为气体,进入到吸收器(11)中;

热网回水首先进入吸收器(11)内,进行一次加热,而后进入冷凝器(9)内,进行二次加热。

一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于发电领域,具体涉及一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置及方法。

背景技术

[0002] 高温堆是具有固有安全性的第四代反应堆,相对于第三代核电技术有着布置灵活、热效率高、安全性好、系统简单等特点,是未来实现碳达峰碳中和的有效途径,尤其在热电联产、高温热利用方面具有广阔的应用前景。国内外均针对高温气冷堆的发展规划进行了相应部署,目前,高温气冷堆的并网发电示范已经在我国稳步开展并取得重要成果。

[0003] 高温气冷堆一次回路出口的氦气温度达到750℃以上,目前对于高温气冷堆热量的利用一般为产生高温高压蒸汽。除了常规的基于蒸汽机组的热电联产应用之外,高温气冷堆出口的高温氦气也可以用于其他高温热利用场景,比如碘硫制氢、氦气透平发电以及超临界二氧化碳布雷顿循环发电。碘硫制氢循环主要包含本生反应及酸液分离、碘化氢浓缩与分解、硫酸浓缩与分解,其中第三步反应温度为800~900℃,因此需要高温气冷堆氦气温度达到950℃左右。氦气透平发电循环的研究主要集中在循环形式和循环效率上,包括整体布雷顿循环和联合循环、进出口温度参数影响等。

[0004] 而目前高温气冷堆直接用于蒸汽热电联产有如下问题:

[0005] 1、高温气冷堆一次介质出口温度750℃,可采用更高效率的循环方式。

[0006] 2、高温气冷堆机组体积相对较小,相比而言蒸汽循环机组体积较大,配套建设成本较高。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置及方法,解决了现有技术中存在的上述不足。

[0008] 为了达到上述目的,本发明采用的技术方案是:

[0009] 本发明提供一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置,包括高温气冷堆、高温取热器、二氧化碳透平、二氧化碳循环单元和低温工业热源驱动单元,其中,高温气冷堆的高温介质出口连接高温取热器上设置的高温介质入口;所述高温取热器上设置的超临界二氧化碳出口连接二氧化碳透平的超临界二氧化碳入口;

[0010] 所述二氧化碳透平的低温二氧化碳出口连接二氧化碳循环单元的入口,所述二氧化碳循环单元上设置有热网回水入口、热网供水出口和二氧化碳出口,其中,所述二氧化碳出口连接高温取热器上设置的二氧化碳入口;所述热网供水出口连接热网供水设备;

[0011] 所述高温取热器上设置的高温循环介质出口连接低温工业热源驱动单元上设置的高温循环介质入口,所述低温工业热源驱动单元上设置有热网回水入口和热网供水出口,其中,所述热网供水出口连接热网供水设备。

[0012] 优选地,所述二氧化碳循环单元包括二氧化碳低温回热器、二氧化碳高温回热器、

二氧化碳冷却器和二氧化碳压缩机,其中,所述二氧化碳透平的低温二氧化碳出口连接二氧化碳高温回热器上设置的低温侧入口,所述二氧化碳高温回热器上的低温侧出口分为两路,一路连接二氧化碳低温回热器的低温侧入口,另一路连接低温工业热源驱动单元的二氧化碳入口;所述二氧化碳低温回热器的低温侧出口连接二氧化碳冷却器的二氧化碳入口,所述二氧化碳冷却器的二氧化碳出口依次经过二氧化碳压缩机和二氧化碳低温回热器连接二氧化碳高温回热器;

[0013] 所述二氧化碳冷却器上设置有热网回水入口和热网供水出口,所述热网供水出口连接热网供水设备。

[0014] 优选地,所述低温工业热源驱动单元包括发生器、冷凝器、蒸发器、吸收器和低温工业热源发生器,其中,所述发生器上的二氧化碳入口连接二氧化碳循环单元的二氧化碳出口;所述发生器上的蒸发溶剂出口连接冷凝器的溶剂入口,所述冷凝器上的冷凝溶剂出口连接蒸发器的冷凝溶剂入口;

[0015] 所述蒸发器上的循环介质出入口连接低温工业热源发生器的循环介质出入口;

[0016] 所述吸收器上设置有热网回水入口和热网回水出口,其中,所述热网回水出口连接冷凝器上设置的热网水入口,所述冷凝器上的热网供水出口连接热网供水设备;

[0017] 所述蒸发器上的气体出口连接吸收器的气体入口。

[0018] 优选地,所述冷凝器和蒸发器之间设置有溶剂节流阀。

[0019] 优选地,所述发生器的溶液出口经过溶液换热器连接吸收器;

[0020] 所述吸收器上的稀溶液出口经过溶液换热器连接发生器的溶液入口。

[0021] 优选地,所述溶液换热器浓溶液出口和吸收器的入口之间设置有浓溶液膨胀阀。

[0022] 优选地,所述溶液换热器稀溶液入口和吸收器的稀溶液出口之间设置有溶液泵。

[0023] 一种高温气冷堆梯级利用的发电供热方法,包括以下步骤:

[0024] 通过高温气冷堆的热量将二氧化碳加热形成超临界二氧化碳;利用超临界二氧化碳进行发电;

[0025] 利用超临界二氧化碳冷却后的余热以及放热后的高温气冷堆热量结合低温工业热源作为低温驱动热源对热网回水进行加热。

[0026] 优选地,高温介质在高温气冷堆吸收高温气冷堆反应堆的高温热量后进入高温取热器;

[0027] 从二氧化碳高温回热器来的高压二氧化碳流体在高温取热器吸热后,进入二氧化碳透平做功发电;

[0028] 之后低温二氧化碳回到二氧化碳高温回热器中进行换热,换热后的一部分低温二氧化碳依次进入二氧化碳低温回热器和二氧化碳冷却器中,被低温的热网回水进行冷却;冷却后的二氧化碳进入二氧化碳压缩机,被加压后的二氧化碳依次进入二氧化碳低温回热器和二氧化碳高温回热器中进行换热,然后进入高温取热器;

[0029] 另一部分低温二氧化碳进入低温工业热源单元,利用放热后的高温气冷堆热量结合低温工业热源作为低温驱动热源对热网回水进行加热。

[0030] 优选地,高温循环介质在高温取热器内向二氧化碳放热后进入发生器,同时,由二氧化碳循环单元出来的另一部分二氧化碳也进入发生器中;

[0031] 发生器内的盐溶液受到高温介质的加热,溶液中的溶剂蒸发,溶液浓度升高;其

中,蒸发后的溶剂进入到冷凝器中冷凝为液体,放出热量被从吸收器来的热网水吸收;

[0032] 冷凝后的溶剂进入蒸发器,在蒸发器内进一步受到来自低温工业热源发生器的低温循环介质的加热,蒸发为气体,进入到吸收器中;

[0033] 热网回水首先进入吸收器内,进行一次加热,而后进入冷凝器内,进行二次加热。

[0034] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0035] 本发明提供的一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置及方法,首先利用高品位的高温气冷堆热量进行二氧化碳循环发电,进一步提高了发电效率,实现了高品位高温气冷堆热量的有效利用;利用发电后的温度为400℃左右的氦气余热和回热器中的高温二氧化碳驱动吸收式热泵中的发生器,实现了对低温工业余热品位的提升,提高了低温工业余热的利用效率;本装置中的二氧化碳发电系统体积紧凑,占地空间小,降低了高温气冷堆利用系统的整体体积和成本。

附图说明

[0036] 图1是本发明涉及的系统结构图。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图,对本发明进一步详细说明。

[0038] 如图1所示,本发明提供的一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置及方法,一方面利用超临界二氧化碳发电的方式,充分利用高温气冷堆的高品位热能进行发电;另一方面,采用吸收式热泵技术,以向二氧化碳放热后的高温气冷堆热量作为高温驱动热源,以低温工业热源作为低温驱动热源,同超临界二氧化碳冷却过程中的余热一同用于热网供水的加热,实现高温气冷堆的全面深层次利用。

[0039] 本发明提供的一种高温气冷堆梯级利用的发电供热装置,包括高温气冷堆1、高温取热器2、发生器3、二氧化碳透平4、二氧化碳低温回热器5、二氧化碳高温回热器6、二氧化碳冷却器7、二氧化碳压缩机8、冷凝器9、蒸发器10、吸收器11、溶液换热器12、膨胀阀13、溶液泵14、低温工业热源15和溶剂节流阀16,其中,所述高温气冷堆热源1的高温介质出口经过高温取热器2连接发生器3的高温介质入口。

[0040] 所述高温取热器2上设置有二氧化碳流体入口和超临界二氧化碳出口,其中,二氧化碳流体入口连接二氧化碳低温回热器6上设置的二氧化碳流体出口;所述超临界二氧化碳出口分为两路,一路连接二氧化碳透平4的二氧化碳入口;另一路连接发生器3上设置的二氧化碳入口。

[0041] 所述发生器3上设置的低温循环介质出口依次经过溶液换热器12、吸收器11、冷凝器9和蒸发器10连接低温工业热源发生器15。

[0042] 所述低温工业热源发生器15上设置的高温循环介质出口连接蒸发器10上设置的高温循环介质入口。

[0043] 所述发生器3上设置有溶剂出口,所述溶剂出口连接冷凝器9上设置的溶剂入口。

[0044] 所述冷凝器9上设置的高温水出口连接热网供水设备。

[0045] 所述冷凝器9上设置的冷凝剂出口经过溶剂节流阀16连接蒸发器10的溶剂入口。

[0046] 所述蒸发器10上设置有气体出口,所述气体出口连接吸收器11的气体入口。

- [0047] 所述吸收器11上设置的稀溶液出口经过溶液泵14连接溶液换热器12的溶液入口。
- [0048] 所述溶液换热器12上设置的低温溶液出口经过溶液膨胀阀12连接吸收器1上设置的溶液入口。
- [0049] 所述吸收器1上设置有热网回水入口,所述吸收器11上设置的高温热网回水出口连接冷凝器9的高温水入口,所述冷凝器上设置的高温水出口连接热网供水设备。
- [0050] 所述二氧化碳透平4上设置的二氧化碳乏汽出口经过二氧化碳低温回热器6连接二氧化碳高温回热器5上设置的二氧化碳入口。
- [0051] 所述二氧化碳低温回热器6上设置的二氧化碳流体入口连接二氧化碳高温回热器5上设置的二氧化碳流体出口。
- [0052] 所述二氧化碳高温换热器5上设置有高压二氧化碳入口,所述高压二氧化碳入口连接二氧化碳压缩机8上设置的高压二氧化碳出口。
- [0053] 所述二氧化碳高温换热器5上设置有低温二氧化碳出口,所述低温二氧化碳出口连接二氧化碳冷却器7的二氧化碳入口。
- [0054] 所述二氧化碳冷却器7上设置的低温二氧化碳出口连接二氧化碳压缩机8上设置的二氧化碳入口。
- [0055] 所述二氧化碳冷却器7上设置有热网回水入口和热网供水出口,所述热网供水出口连接热网供水设备。
- [0056] 所述二氧化碳低温换热器6上设置的二氧化碳出口还连接发生器3上设置的二氧化碳入口。
- [0057] 本发明的工作过程:
- [0058] 对于高温气冷堆热量的利用,主要包括采用超临界二氧化碳发电方式进行发电和驱动吸收式热泵中发生器内溶液蒸发。
- [0059] 高温介质如氦气首先在高温气冷堆1吸收高温气冷堆反应堆的高温热量,自身温度达到600℃以上,然后进入高温取热器2。
- [0060] 从二氧化碳高温回热器6来的高压二氧化碳流体在高温取热器2吸热后,进入二氧化碳透平4做功发电,而后回到二氧化碳高温回热器6中进行换热,温度降到300℃附近;而后一部分低温二氧化碳依次进入二氧化碳低温回热器5和二氧化碳冷却器7中,被低温的热网回水进行冷却,自身温度达到临界温度35℃附近,热网回水的温度达到60℃附近;冷却后的二氧化碳进入二氧化碳压缩机8,被加压后的二氧化碳依次进入二氧化碳低温回热器5和二氧化碳高温回热器6中进行换热,然后进入高温取热器2;构成二氧化碳发电循环,该部分通过二氧化碳工质的循环,实现高温气冷堆热量到高品质电能的转换。
- [0061] 高温循环介质在高温取热器2内向二氧化碳放热后,自身仍具有400℃左右的温度,利用吸收式热泵完成该部分热量及低温工业余热的回收利用。
- [0062] 高温循环介质由高温取热器2进入发生器3,同时,由二氧化碳高温回热器6出来的另一部分二氧化碳也进入发生器3中,低温循环介质在低温工业热源发生器15中吸热,进入蒸发器10。
- [0063] 发生器3内由盐和溶剂构成的盐溶液受到高温介质的加热,溶液中的溶剂蒸发,溶液浓度升高;其中,蒸发后的溶剂进入到冷凝器9中冷凝为液体,放出热量被热网水吸收;
- [0064] 冷凝后的溶剂经过溶剂节流阀16节流后,由于压力降低,对应的饱和温度降低,溶

剂本身向饱和点靠近,进入蒸发器10,在蒸发器10内进一步受到低温循环介质的加热,蒸发为气体,进入到吸收器11中。

[0065] 发生器3由于加热蒸发作用产生的浓溶液首先进入溶液换热器12中,同溶液泵14输送而来的稀溶液进行换热,而后经溶液膨胀阀13节流后,进入到吸收器11中。

[0066] 吸收器11内的浓溶液吸收由蒸发器10过来的低压水蒸气,释放潜热和溶解热。

[0067] 热网回水首先进入吸收器11内,进行一次加热,而后进入冷凝器9内,进行二次加热,然后同在二氧化碳冷却器7中被加热的热网供水一起,用于热网供热,完成供热功能的实现。

[0068] 本发明取得的技术效果:

[0069] 1、通过二氧化碳发电和吸收式热泵结合的方式,实现高温气冷堆热量发电和供热的梯级回收利用。

[0070] 2、通过采用吸收式热泵,进一步利用高温气冷堆热量提升了低温工业余热的品味,实现了高温气冷堆热量和工业余热的全面利用。

[0071] 3、利用发电介质二氧化碳被冷却过程中的热量,实现了发电余热到热网供水的回收利用。

[0072] 首先利用高品位的高温气冷堆热量进行二氧化碳循环发电,进一步提高了发电效率,实现了高品位高温气冷堆热量的有效利用。

[0073] 利用发电后的温度为400℃左右的氦气余热和回热器中的高温二氧化碳驱动吸收式热泵中的发生器,实现了对低温工业余热品位的提升,提高了低温工业余热的利用效率。

[0074] 二氧化碳发电系统体积紧凑,占地空间小,降低了高温气冷堆利用系统的整体体积和成本。

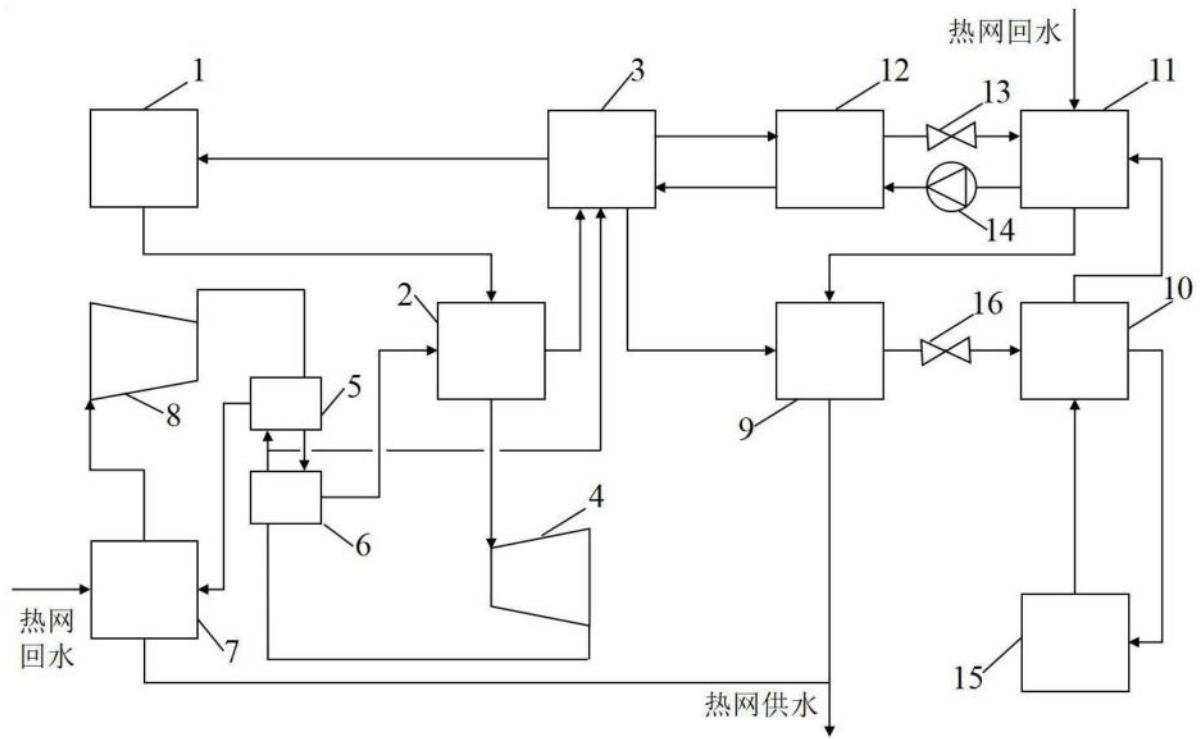


图1