



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115962024 A

(43) 申请公布日 2023. 04. 14

(21) 申请号 202211652766.9

(22) 申请日 2022.12.21

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72) 发明人 孙瑞强 刘明 赵永亮 王朝阳
严俊杰

(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务
所 61215

专利代理师 何会侠

(51) Int.Cl.

F01K 25/10 (2006.01)

F01K 11/02 (2006.01)

F01K 13/00 (2006.01)

F28D 20/00 (2006.01)

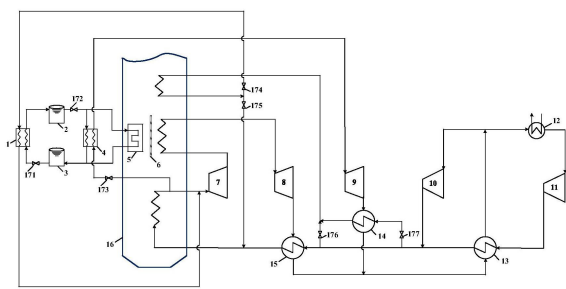
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统
及运行方法

(57) 摘要

本发明公开一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统及运行方法,系统采用超临界二氧化碳再压缩再热循环,还包括由高、低温熔盐储罐、2号熔盐换热器、熔盐-烟气换热器、分流透平和中温回热器组成的储热系统,以及由高、低温熔盐储罐、1号熔盐换热器组成的释热系统。储热时,在维持锅炉最小稳燃负荷的前提下,分流出部分烟气及透平工质加热熔盐,以减少循环侧工质流量实现进一步降低机组输出功率,同时将高温热量存储于熔盐储罐中;释热时,释放熔盐罐中存储热量,用于加热高温回热器入口分流的部分工质,然后汇入高压透平,可在不改变过锅炉负荷时提高机组输出功率。本发明可拓宽燃煤机组运行负荷区间,提升系统灵活性,增强辅助电网调峰调频能力。



CN 115962024 A

1. 一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统,其特征在于,包括再压缩再热发电系统、储热系统和释热系统;

所述再压缩再热发电系统包括高压透平(7)、低压透平(8)、再压缩机(10)、主压缩机(11)、冷却器(12)、低温回热器(13)、高温回热器(15)和锅炉(16);主压缩机(11)出口与低温回热器(13)冷侧入口相连,低温回热器(13)冷侧出口与高温回热器(15)冷侧入口相连,高温回热器(15)冷侧出口与锅炉(16)相连,锅炉(16)出口工质与高压透平(7)相连,高压透平(7)出口再热工质与锅炉(16)相连,锅炉(16)出口再热工质与低压透平(8)相连,低压透平(8)出口依次与高温回热器(15)热侧和低温回热器(13)热侧相连,低温回热器(13)热侧出口分别与再压缩机(10)入口和冷却器(12)入口相连,再压缩机(10)出口与低温回热器(13)冷侧出口相连,冷却器(12)出口与主压缩机(11)入口相连;高温回热器(15)冷侧入口还与锅炉(16)尾部入口相连,锅炉(16)尾部出口与高温回热器(15)冷侧出口相连;

所述储热系统包括低温熔盐罐(2)、高温熔盐罐(3)、2号熔盐换热器(4)、分流透平(9)和中温回热器(14);所述2号熔盐换热器(4)热侧入口与高压透平(7)入口相连,2号熔盐换热器(4)热侧出口与分流透平(9)入口相连,分流透平(9)出口与中温回热器(14)热侧入口相连,中温回热器(14)热侧出口与低温回热器(13)热侧入口相连,中温回热器(14)冷侧入口与低温回热器(13)冷侧出口相连,中温回热器(14)冷侧出口与锅炉(16)尾部工质入口相连;2号熔盐换热器(4)冷侧入口与低温熔盐罐(2)出口相连,2号熔盐换热器(4)冷侧出口与高温熔盐罐(3)入口相连;

所述释热系统包括1号熔盐换热器(1),所述1号熔盐换热器(1)热侧入口与高温熔盐罐(3)出口相连,1号熔盐换热器(1)热侧出口与低温熔盐罐(2)入口相连;1号熔盐换热器(1)冷侧入口与锅炉(16)尾部工质出口相连,1号熔盐换热器(1)冷侧出口与高压透平(7)入口相连。

2. 如权利要求1所述的一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统,其特征在于,所述锅炉(16)内布置熔盐-烟气换热器(5),所述熔盐-烟气换热器(5)熔盐入口与低温熔盐罐(2)出口相连,熔盐-烟气换热器(5)熔盐出口与高温熔盐罐(3)入口相连。

3. 如权利要求2所述的一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统,其特征在于,所述锅炉(16)内布置分流烟道挡板(6)实现烟道旁路,旁路烟道内布置烟气-熔盐换热器(5)。

4. 如权利要求1所述的一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统,其特征在于,高温熔盐罐(3)与1号熔盐换热器(1)的连接管路上设置一号阀门(171),低温熔盐罐(2)与熔盐-烟气换热器(5)的连接管路上设置二号阀门(172),2号熔盐换热器(4)与高压透平(7)的连接管路上设置三号阀门(173),锅炉(16)尾部出口与1号熔盐换热器(1)的连接管路上设置四号阀门(174),锅炉(16)尾部出口与高温回热器(15)冷侧出口的连接管路上设置五号阀门(175),锅炉(16)尾部入口与高温回热器(15)冷侧入口的连接管路上设置六号阀门(176),低温回热器(13)冷侧出口与中温回热器(14)的冷侧入口的连接管路上设置七号阀门(177)。

5. 如权利要求1所述的一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统,其特征在于,所述主压缩机(11)入口温度为32-42℃。

6. 如权利要求1所述的一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统,其特征在于,所述主压缩机(11)入口压力为7.5-9.0MPa。

7. 权利要求1至6任一项所述的一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统的运行方法,其特征在,包括常规运行模式,储热运行模式及释热运行模式;

所述常规运行模式,所有阀门和分流烟道挡板(6)默认关闭状态,锅炉(16)出口的高温高压二氧化碳工质进入高压透平(7)做功,高压透平(7)出口工质经锅炉(16)再热后,再进入低压透平(8)做功,低压透平(8)出口工质依次经高温回热器(15)和低温回热器(13)放热后分为两部分:一部分经再压缩机(10)压缩升压;另一部分经冷却器(12)冷却后进入主压缩机(11)压缩升压,主压缩机(11)出口工质进入低温回热器(13)加热,低温回热器(13)冷侧出口工质与再压缩机(10)出口工质汇合,经高温回热器(15)加热后进入锅炉;打开五号阀门(175)和六号阀门(176),在高温回热器(15)冷侧入口前形成分流,分流出部分工质进入锅炉(16)尾部吸收中低温烟气热量,汇入高温回热器(15)冷侧出口与锅炉(16)连接处;

所述储热运行模式,在所述常规运行模式基础上,打开分流烟道挡板(6),打开二号阀门(172)、三号阀门(173)和七号阀门(177),关闭六号阀门(176);在锅炉(16)内部形成旁路烟道,分流部分烟气加热来自低温熔盐罐(2)的熔盐,熔盐被加热到高温状态后存储于高温熔盐罐(3);同样,分流出部分高压透平(7)进口工质于2号熔盐换热器(4)内加热来自低温熔盐罐(2)的熔盐,熔盐被加热到高温状态后存储于高温熔盐罐(3);

所述释热运行模式,在所述常规运行模式基础上,关闭五号阀门(175),打开一号阀门(171)和四号阀门(174);释放高温熔盐罐(3)存储的高温熔盐于1号熔盐换热器(1)中加热来自锅炉(16)尾部出口工质,释热后的低温熔盐返回存储于低温熔盐罐(2),1号熔盐换热器(1)中被加热的工质汇入高压透平(7)进口。

8. 如权利要求7所述的一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统的运行方法,其特征在于,储热运行模式下,2号熔盐换热器(4)出口的二氧化碳工质进入分流透平(9)膨胀做功,同时降低压力,分流透平(9)出口工质于中温回热器(14)内加热低温回热器(13)冷侧出口分流工质,中温回热器(14)冷侧出口工质进入锅炉(16)尾部吸热后,汇入高温回热器(15)冷侧出口,中温回热器(14)热侧出口工质汇入低温回热器(13)热侧入口。

一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统及运行方法

技术领域

[0001] 本发明属于发电技术领域,具体涉及一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统及运行方法。

背景技术

[0002] 目前燃煤发电系统多采用蒸汽朗肯循环,根据朗肯循环原理,提高蒸汽参数可以有效提高发电效率,但承受高温高压的镍基超级合金生产成本较高,导致燃煤电站初投资较大,投资回收期较长,技术经济性较差。而基于布雷顿循环原理的超临界二氧化碳动力循环是极有潜力可用于燃煤发电的新型循环,具有高效、紧凑等优点。

[0003] 随着“双碳”战略目标提出,我国对燃煤发电系统灵活性提出了更高要求,以适应不断提高的可再生能源发电比例。燃煤机组的灵活性主要包括变负荷区间、变负荷速率、启停时间等。然而,对于超临界二氧化碳燃煤发电系统,也同样受到锅炉最小稳燃负荷限制,锅炉-透平能流耦合限制,运行灵活性不足。

发明内容

[0004] 为进一步降低燃煤机组最小运行负荷,拓宽变负荷区间,并提高变负荷速率,本发明提出一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统及运行方法。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统,包括再压缩再热发电系统、储热系统和释热系统;

[0007] 所述再压缩再热发电系统包括高压透平7、低压透平8、再压缩机10、主压缩机11、冷却器12、低温回热器13、高温回热器15和锅炉16;主压缩机11出口与低温回热器13冷侧入口相连,低温回热器13冷侧出口与高温回热器15冷侧入口相连,高温回热器15冷侧出口与锅炉16相连,锅炉16出口工质与高压透平7相连,高压透平7出口再热工质与锅炉16相连,锅炉16出口再热工质与低压透平8相连,低压透平8出口依次与高温回热器15热侧和低温回热器13热侧相连,低温回热器13热侧出口分别与再压缩机10入口和冷却器12入口相连,再压缩机10出口与低温回热器13冷侧出口相连,冷却器12出口与主压缩机11入口相连;高温回热器15冷侧入口还与锅炉16尾部入口相连,锅炉16尾部出口工质与高温回热器15冷侧出口相连;

[0008] 所述储热系统包括低温熔盐罐2、高温熔盐罐3、2号熔盐换热器4、分流透平9和中温回热器14;所述2号熔盐换热器4热侧入口与高压透平7入口相连,2号熔盐换热器4热侧出口与分流透平9入口相连,分流透平9出口与中温回热器14热侧入口相连,中温回热器14热侧出口与低温回热器13热侧入口相连,中温回热器14冷侧入口与低温回热器13冷侧出口相连,中温回热器14冷侧出口与锅炉16尾部工质入口相连;2号熔盐换热器4冷侧入口与低温熔盐罐2出口相连,2号熔盐换热器4冷侧出口与高温熔盐罐3入口相连;

[0009] 所述释热系统包括1号熔盐换热器1,所述1号熔盐换热器1热侧入口与高温熔盐罐

3出口相连,1号熔盐换热器1热侧出口与低温熔盐罐2入口相连;1号熔盐换热器1冷侧入口与锅炉16尾部工质出口相连,1号熔盐换热器1冷侧出口与高压透平7入口相连。

[0010] 所述锅炉16内布置熔盐-烟气换热器5,所述熔盐-烟气换热器5熔盐入口与低温熔盐罐2出口相连,熔盐-烟气换热器5熔盐出口与高温熔盐罐3入口相连。

[0011] 所述锅炉16内布置分流烟道挡板6实现烟道旁路,旁路烟道内布置烟气-熔盐换热器5。

[0012] 所述高温熔盐罐3与1号熔盐换热器1的连接管路上设置一号阀门171,低温熔盐罐2与熔盐-烟气换热器5的连接管路上设置二号阀门172,2号熔盐换热器4与高压透平7的连接管路上设置三号阀门173,锅炉16尾部出口与1号熔盐换热器1的连接管路上设置四号阀门174,锅炉16尾部出口与高温回热器15冷侧出口的连接管路上设置五号阀门175,锅炉16尾部入口与高温回热器15冷侧入口的连接管路上设置六号阀门176,低温回热器13冷侧出口与中温回热器14的冷侧入口的连接管路上设置七号阀门177。

[0013] 所述主压缩机11入口温度为32-42℃。

[0014] 所述主压缩机11入口压力为7.5-9.0MPa。

[0015] 所述的一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统的运行方法,包括常规运行模式,储热运行模式及释热运行模式;

[0016] 所述常规运行模式,所有阀门和分流烟道挡板6默认关闭状态,锅炉16出口的高温高压二氧化碳工质进入高压透平7做功,高压透平7出口工质经锅炉16再热后,再进入低压透平8做功,低压透平8出口工质依次经高温回热器15和低温回热器13放热后分为两部分:一部分经再压缩机10压缩升压;另一部分经冷却器12冷却后进入主压缩机11压缩升压,主压缩机11出口工质进入低温回热器13加热,低温回热器13冷侧出口工质与再压缩机10出口工质汇合,经高温回热器15加热后进入锅炉;打开五号阀门175和六号阀门176,在高温回热器15冷侧入口前形成分流,分流出部分工质进入锅炉16尾部吸收中低温烟气热量,汇入高温回热器15冷侧出口与锅炉16连接处;

[0017] 所述储热运行模式,在所述常规运行模式基础上,打开分流烟道挡板6,打开二号阀门172、三号阀门173和七号阀门177,关闭六号阀门176;在锅炉16内部形成旁路烟道,分流部分烟气加热来自低温熔盐罐2的熔盐,熔盐被加热到高温状态后存储于高温熔盐罐3;同样,分流出部分高压透平7进口工质于2号熔盐换热器4内加热来自低温熔盐罐2的熔盐,熔盐被加热到高温状态后存储于高温熔盐罐3;

[0018] 所述释热运行模式,在所述常规运行模式基础上,关闭五号阀门175,打开一号阀门171和四号阀门174;释放高温熔盐罐3存储的高温熔盐于1号熔盐换热器1中加热来自锅炉16尾部出口工质,释热后的低温熔盐返回存储于低温熔盐罐2,1号熔盐换热器1中被加热的工质汇入高压透平7进口。

[0019] 储热运行模式下,2号熔盐换热器4出口的二氧化碳工质进入分流透平9膨胀做功,同时降低压力,分流透平9出口工质于中温回热器14内加热低温回热器13冷侧出口分流工质,中温回热器14冷侧出口工质进入锅炉16尾部吸热后,汇入高温回热器15冷侧出口,中温回热器14热侧出口工质汇入低温回热器13热侧入口。

[0020] 和现有技术相比较,本发明具备如下优点:

[0021] 1) 本发明基于超临界二氧化碳布雷顿再压缩循环构建,可提高燃煤发电机组效

率。

[0022] 2) 本发明集成储热系统,可通过储热减小循环发电侧工质,进而降低燃煤发电机组最小运行负荷,或可通过放热在不改变锅炉负荷时提高机组输出功率,拓宽机组变负荷范围。

[0023] 3) 本发明可在机组降负荷时,快速降低进入高、低压透平流量,提高变负荷速率。

附图说明

[0024] 图1为本发明超临界二氧化碳储热发电一体化系统示意图。

[0025] 图2(a)为超临界二氧化碳储热发电一体化系统的常规运行模式示意图。

[0026] 图2(b)为超临界二氧化碳储热发电一体化系统的储热运行模式示意图。

[0027] 图2(c)为超临界二氧化碳储热发电一体化系统的放热运行模式示意图。

具体实施方式

[0028] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

[0029] 如图1所示的一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统,包括再压缩再热发电系统、储热系统和释热系统;再压缩再热发电系统包括高压透平7、低压透平8、再压缩机10、主压缩机11、冷却器12、低温回热器13、高温回热器15和锅炉16;主压缩机11出口与低温回热器13冷侧入口相连,低温回热器13冷侧出口与高温回热器15冷侧入口相连,高温回热器15冷侧出口与锅炉16相连,锅炉16出口工质与高压透平7相连,高压透平7出口再热工质与锅炉16相连,锅炉16出口再热工质与低压透平8相连,低压透平8出口依次与高温回热器15热侧和低温回热器13热侧相连,低温回热器13热侧出口分别与再压缩机10入口和冷却器12入口相连,再压缩机10出口与低温回热器13冷侧出口相连,冷却器12出口与主压缩机11入口相连;高温回热器15冷侧入口还与锅炉16尾部入口相连,锅炉16尾部出口与高温回热器15冷侧出口相连;

[0030] 所述储热系统包括低温熔盐罐2、高温熔盐罐3、2号熔盐换热器4、分流透平9和中温回热器14;锅炉16内布置熔盐-烟气换热器5,所述熔盐-烟气换热器5熔盐入口与低温熔盐罐2出口相连,熔盐-烟气换热器5熔盐出口与高温熔盐罐3入口相连;低温熔盐罐2出口还与2号熔盐换热器4冷侧入口相连,高温熔盐罐3入口还与2号熔盐换热器4冷侧出口相连,2号熔盐换热器4热侧入口与高压透平7入口相连,2号熔盐换热器4热侧出口与分流透平9入口相连,分流透平9出口与中温回热器14热侧入口相连,中温回热器14热侧出口与低温回热器13热侧入口相连,中温回热器14冷侧入口与低温回热器13冷侧出口相连,中温回热器14冷侧出口与锅炉16尾部工质入口相连;

[0031] 释热系统包括1号熔盐换热器1,所述1号熔盐换热器1热侧入口与高温熔盐罐3出口相连,1号熔盐换热器1热侧出口与低温熔盐罐2入口相连;1号熔盐换热器1冷侧入口与锅炉16尾部工质出口相连,1号熔盐换热器1冷侧出口与高压透平7入口相连。

[0032] 锅炉16内布置分流烟道挡板6实现烟道旁路,旁路烟道内布置烟气-熔盐换热器5。

[0033] 高温熔盐罐3与1号熔盐换热器1的连接管路上设置一号阀门171,低温熔盐罐2与熔盐-烟气换热器5的连接管路上设置二号阀门172,2号熔盐换热器4与高压透平7的连接管路上设置三号阀门173,锅炉16尾部出口与1号熔盐换热器1的连接管路上设置四号阀门

174, 锅炉16尾部出口与高温回热器15冷侧出口的连接管路上设置五号阀门175, 锅炉16尾部入口与高温回热器15冷侧入口的连接管路上设置六号阀门176, 低温回热器13冷侧出口与中温回热器14的冷侧入口的连接管路上设置七号阀门177。

[0034] 主压缩机11入口温度为32-42℃;主压缩机11入口压力为7.5-9.0MPa。

[0035] 一种超临界二氧化碳储热发电一体化系统的运行方法:主要包括常规运行模式, 储热运行模式及释热运行模式;

[0036] 常规运行模式:所有阀门和分流烟道挡板6默认关闭状态, 锅炉16出口的高温高压二氧化碳工质进入高压透平7做功, 高压透平7出口工质经锅炉16再热后, 再进入低压透平8做功, 低压透平8出口工质依次经高温回热器15和低温回热器13放热后分为两部分:一部分经再压缩机10压缩升压;另一部分经冷却器12冷却后进入主压缩机11压缩升压, 主压缩机11出口工质进入低温回热器13加热, 低温回热器13冷侧出口工质与再压缩机10出口工质汇合, 经高温回热器15加热后进入锅炉;打开五号阀门175和六号阀门176, 在高温回热器15冷侧入口前形成分流, 分流出部分工质进入锅炉16尾部吸收中低温烟气热量, 汇入高温回热器15冷侧出口与锅炉16连接处;;所述常规运行模式如图2(a)所示;

[0037] 储热运行模式:在所述常规运行模式基础上, 打开分流烟道挡板6, 打开二号阀门172、三号阀门173和七号阀门177, 关闭六号阀门176;在锅炉16内部形成旁路烟道, 分流部分烟气加热来自低温熔盐罐2的熔盐, 熔盐被加热到高温状态后存储于高温熔盐罐3;同样, 分流出部分高压透平7进口工质于2号熔盐换热器4内加热来自低温熔盐罐2的熔盐, 熔盐被加热到高温状态后存储于高温熔盐罐3, 2号熔盐换热器4出口的二氧化碳工质进入分流透平9膨胀做功, 同时降低压力, 分流透平9出口工质于中温回热器14内加热低温回热器13冷侧出口分流工质, 中温回热器14冷侧出口工质进入锅炉16尾部吸热后, 汇入高温回热器15冷侧出口, 中温回热器14热侧出口工质汇入低温回热器13热侧入口;所述储热运行模式如图2(b)所示;

[0038] 释热运行模式:在所述常规运行模式基础上, 关闭五号阀门175, 打开一号阀门171和四号阀门174;释放高温熔盐罐3存储的高温熔盐于1号熔盐换热器1中加热来自锅炉16尾部出口工质, 释热后的低温熔盐返回存储于低温熔盐罐2, 1号熔盐换热器1中被加热的工质汇入高压透平7进口;所述放热运行模式如图2(c)所示。

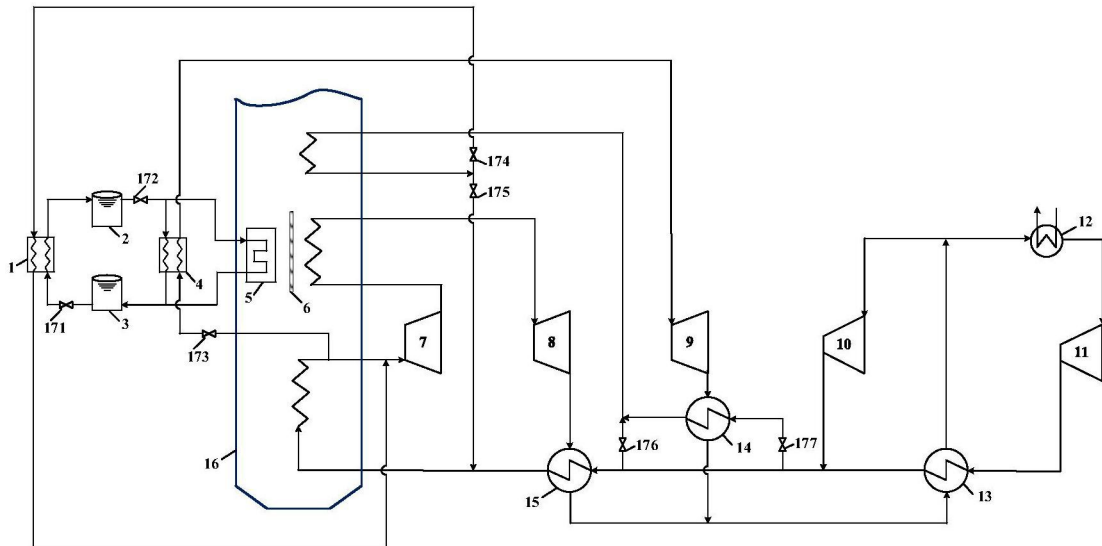


图1

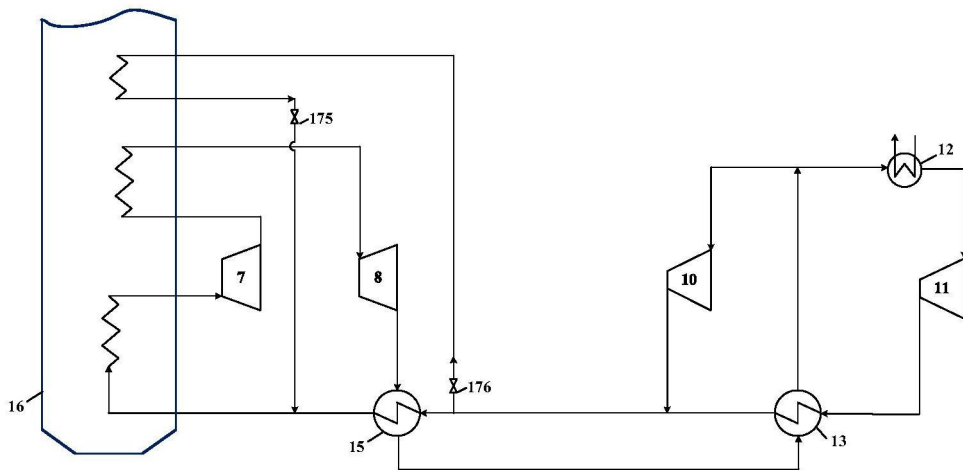


图2(a)

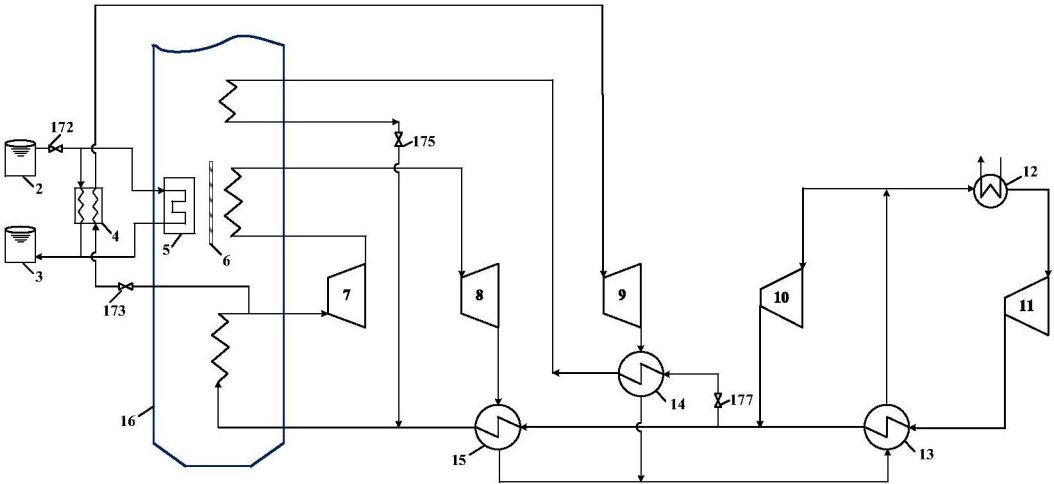


图2 (b)

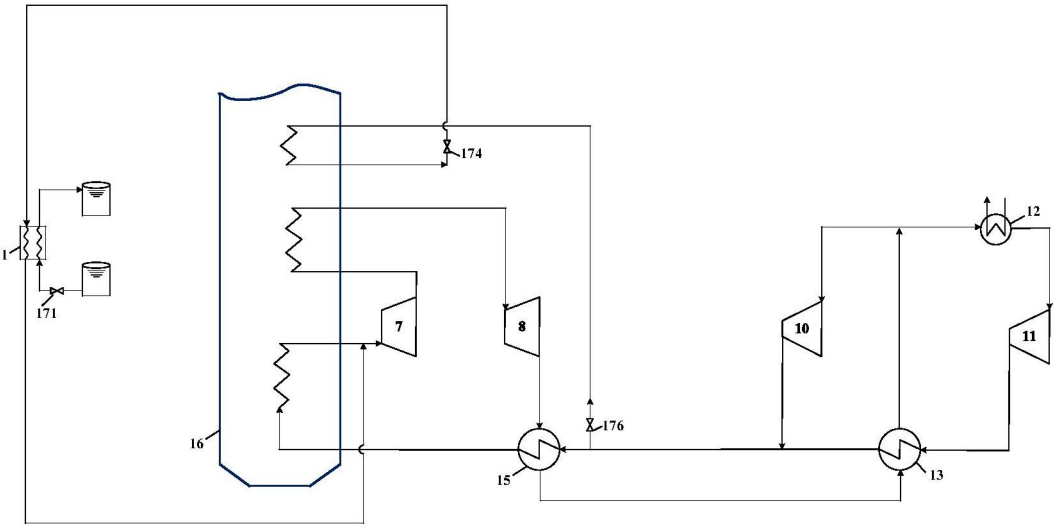


图2 (c)