(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107630726 A
(43)申请公布日 2018.01.26

(21)申请号 201710880939.5

(22)申请日 2017.09.26

(71)申请人 上海发电设备成套设计研究院有限责任公司
地址 201100 上海市闵行区剑川路1115号

(72)发明人 郑开云 黄志强

(74)专利代理机构 上海申汇专利代理有限公司 31001
代理人 翁若莹 吴小丽

(51)Int.Cl.
F01K 7/32(2006.01)
F01K 11/02(2006.01)
F24S 23/00(2018.01)
F24T 10/10(2018.01)

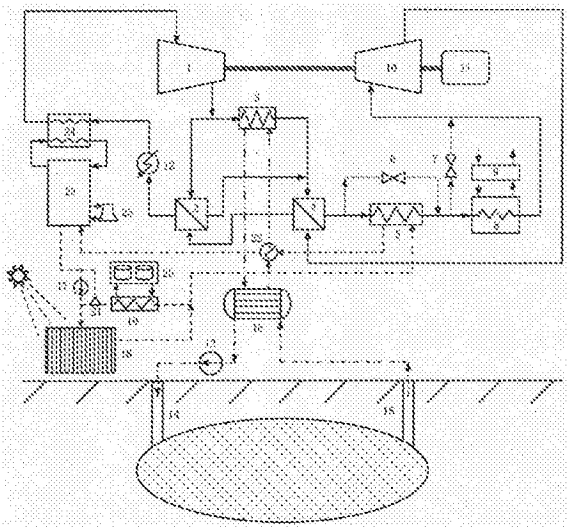
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统及方法

(57)摘要

本发明提供了一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统，包括：由压缩机、低温回热器、地热能加热器、高温回热器、太阳能加热器、锅炉、透平、发电机、预冷器、冷却器构成的超临界二氧化碳循环回路；由注入泵、注入井、生产井、地热能换热器构成的地热注采回路；由循环泵、太阳能聚光集热系统、储热装置换热器、储热装置、三通切换阀、太阳能补热器、溴化锂吸收式制冷机、冷却器、冷却塔构成的太阳能热转换回路。本发明还提供了基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电方法。该系统将多种能源相结合，高低温热源互补，通过超临界二氧化碳循环实现多能混合发电；不但可以提高能源综合利用率，并且系统简单、结构紧凑、运行灵活、成本低。



CN 107630726 A

1.一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统，其特征在于：由超临界二氧化碳循环回路、地热注采回路、太阳能热转换回路组成；

所述超临界二氧化碳循环回路包括压缩机(1)，压缩机(1)出口分别连接低温回热器(2)高压侧进口和地热能加热器(3)二氧化碳工质侧进口，低温回热器(2)高压侧出口与地热能加热器(3)二氧化碳工质侧出口连接高温回热器(4)高压侧进口，高温回热器(4)高压侧出口连接太阳能加热器(5)二氧化碳工质侧进口，太阳能加热器(5)二氧化碳工质侧出口连接锅炉(8)进口，锅炉(8)出口连接透平(10)进气口，压缩机(1)、透平(10)、发电机(11)同轴相连；透平(10)排气口连接高温回热器(4)低压侧进口，高温回热器(4)低压侧出口连接低温回热器(2)低压侧进口，低温回热器(2)低压侧出口连接预冷器(12)进口，预冷器(12)出口连接冷却器(24)工质进口，冷却器(24)工质出口连接压缩机(1)进口；

所述地热注采回路包括深入地下的注入井(14)和生产井(15)，注入泵(13)出口连接注入井(14)，生产井(15)出口连接地热能换热器(16)的地热携热介质侧的进口，地热能换热器(16)的地热携热介质侧的出口连接注入泵(13)的进口，地热能换热器(16)的中间传热介质侧进口、出口分别与地热能加热器(3)的中间传热介质侧出口、太阳能补热器(22)中间传热介质侧进口连接，太阳能补热器(22)中间传热介质侧出口连接地热能加热器(3)的中间传热介质侧进口；

所述太阳能热转换回路包括太阳能聚光集热系统(18)，循环泵(17)出口连接太阳能聚光集热系统(18)的进口和三通切换阀(21)的第一端口，三通切换阀(21)的第二端口连接储热装置换热器(19)一端，太阳能聚光集热系统(18)的出口连接储热装置换热器(19)另一端和所述太阳能加热器(5)传热介质侧的进口，储热装置换热器(19)连接储热装置(20)；所述太阳能加热器(5)传热介质侧的出口连接所述太阳能补热器(22)传热介质侧进口，所述太阳能补热器(22)传热介质侧出口连接溴化锂吸收式制冷机(23)热源进口，溴化锂吸收式制冷机(23)热源出口连接循环泵(17)进口和三通切换阀(21)的第三端口，溴化锂吸收式制冷机(23)的冷媒水进口、出口分别与所述冷却器(24)的冷媒水出口、进口相连。

2.如权利要求1所述的一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统，其特征在于：所述超临界二氧化碳循环回路还包括用于旁路所述太阳能加热器(5)第一旁路阀(6)，第一旁路阀(6)进口、出口分别连接所述太阳能加热器(5)进口、出口；当没有太阳能可以提供时，太阳能加热器(5)被旁路掉，二氧化碳工质直接进入锅炉(8)。

3.如权利要求1或2所述的一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统，其特征在于：所述超临界二氧化碳循环回路还包括用于旁路所述锅炉(8)的第二旁路阀(7)，第二旁路阀(7)进口、出口分别连接所述锅炉(8)进口、出口；当太阳能充足时，不需要锅炉(8)补热，锅炉(8)被旁路掉，二氧化碳工质直接进入透平(10)。

4.如权利要求1所述的一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统，其特征在于：所述锅炉(8)连接空气预热器(9)，空气预热器(9)为空冷预热器或水冷预热器；通过空气预热器(9)回收排烟热量用于加热新空气；所述溴化锂吸收式制冷机(23)与冷却塔(25)相连。

5.如权利要求1所述的一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统，其特征在于：所述压缩机(1)进口二氧化碳工质温度不超过35℃，且温度波动不超过±1.5℃；所述透平(10)进口二氧化碳工质温度不低于400℃、压力不低于18MPa；所述发电机(11)的额定输

出功率为10MWe以上;所述生产井(15)输出的携热介质的温度为100℃以上。

6.如权利要求1所述的一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统,其特征在于:所述太阳能聚光集热系统(18)为塔式、槽式或菲涅尔式太阳能热系统,工作温度不低于300℃,采用的传热介质为导热油、熔盐或其它适用介质;所述溴化锂吸收式制冷机(23)为双效制冷机。

7.如权利要求1所述的一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统,其特征在于:所述地热能加热器(3)与地热能换热器(16)之间的中间传热介质为水;所述地热能注采回路的携热介质为水或超临界二氧化碳。

8.一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电方法,其特征在于:采用如权利要求1~7任一项所述的基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统,步骤为:

冷态的二氧化碳工质进入压缩机(1),压力和温度升高;压缩机(1)出口的二氧化碳工质分两路:一路经低温回热器(2)吸收透平(10)排出工质的低温段热量,另一路经地热能加热器(3)吸收地热能及部分低温太阳能的热量;然后两路汇合进入高温回热器(4)吸收透平(10)排出工质的高温段热量,高温回热器(4)出来的工质经太阳能加热器(5)吸收高温太阳能的热量,再直接进入透平(10)或经锅炉(8)补热后进入透平(10)做功,推动发电机(11)和压缩机(1)工作;透平(10)排出的工质依次经高温回热器(4)、低温回热器(2)释放部分热量,最后经预冷器(12)和冷却器(24)冷却后,再回到压缩机(1),完成超临界二氧化碳循环发电;

地热能采集分为注采回路和中间传热回路,两者通过地热能换热器(16)连接,并将携热介质与中间传热介质隔开;注入泵(13)将携热介质通入注入井(14),携热介质携带地热能从生产井(15)输出,通过地热能换热器(16)传递给中间传热介质,中间传热介质再通过太阳能补热器(22)加热,最后进入地热能加热器(3),将热量传递给二氧化碳工质;

当有足够的太阳光照时,太阳能聚光集热系统(18)吸收太阳光辐射热量,三通切换阀(21)切换至循环泵(17)的进口与储热装置换热器(19)相通,在循环泵(17)的驱动下,传热介质从太阳能聚光集热系统(18)吸收热量,加热后的传热介质一部分通过储热装置换热器(19)将热量传递给储热装置(20),另一部分依次传递给太阳能加热器(5)和太阳能补热器(22);由于光照强烈时气温也相对高,则用太阳能补热器(22)输出的传热介质驱动溴化锂吸收式制冷机(23)工作,产生冷量,通过冷却器(24)冷却二氧化碳工质;

当日落后,将三通切换阀(21)切换至循环泵(17)的出口与储热装置换热器(19)相通,且传热介质不进入太阳能聚光集热系统(18),储热装置(20)将储存的热量通过储热装置换热器(19)传递给传热介质,再送往上述的用热设备。

9.如权利要求8所述的一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电方法,其特征在于:所述太阳能加热器(5)出来的二氧化碳工质,根据需要决定是否进入锅炉(8)补热,如果不需要,则将锅炉(8)旁路。

10.如权利要求8所述的一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电方法,其特征在于:当超临界二氧化碳循环回路在额定负载下发电时,地热注采回路保持稳定的地热采集量,太阳能热转换回路的供热量会随着昼夜变化或天气变化有所起伏;随着太阳能加热器(5)热功率的变化,锅炉(8)调节热功率,使总的热功率保持稳定:当没有太阳能热可用时,太阳能热转换回路不工作,将太阳能加热器(5)旁路。

一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统及方法，属于新能源技术领域。

背景技术

[0002] 当今世界正经历一场能源变革，以常规化石燃料为主的传统能源格局正在向多元化的能源供给模式转变，可再生能源正逐步成为能源主力。

[0003] 地热能在世界范围内以及我们国家的储量非常巨大，其中干热岩（＞150℃）占99％以上，我国干热岩储量按2％可开采量计算相当于我国2010年能源消耗总量的4400倍。近期青海省共和盆地发现200℃以上大规模可利用干热岩，可开采量相当于我国2016年能源消耗总量的3倍。干热岩发电技术不受季节、气候制约，发电的成本仅为风力发电的一半，为太阳能发电的十分之一。但是，地热能毕竟是低品位的热能，如果用于发电，按照目前技术水平，热电转换效率仅为10％左右。太阳能是取之不尽、用之不竭的绿色能源，太阳能热发电是太阳能利用的主要方式之一，近年来这项技术发展十分迅速。但是，以单纯的太阳能模式运行的太阳能热电站存在许多问题，特别是太阳能具有间歇性，太阳能热发电系统的投资和发电成本较高，储热技术还不够成熟。因此，太阳能与其它能源综合互补的利用模式，不仅可以有效地解决太阳能利用不稳定的问题，还可以利用其它发电技术的优势。地热能与太阳能混合发电是一条有现实意义的技术途径，原因是地热能丰富的地区其太阳能资源也非常丰富，这是重要的地理优势。但是，仅有这两种能源并不能完全满足供电要求：一方面作为基本负荷能，其容量较小，稳定性还不够高；另一方面作为调峰负荷，其调峰能力还不够好。因此，还需要再补充可靠的常规热源（如：锅炉），这样将常规能源与地热能、太阳能热进行有机组合，形成多能互补。

[0004] 将热源进行整合，还需要有动力循环系统作为基本架构。近年来，超临界二氧化碳循环成为热点，并且被认为具有诸多潜在优势。二氧化碳的临界点为31℃/7.4MPa，在温度和压力超过临界点时的状态为超临界态。超临界二氧化碳循环的研究始于上世纪四十年代，在六、七十年代取得阶段性研究成果，之后主要由于透平机械、紧凑式热交换器制造技术不成熟而中止，直至本世纪初，超临界二氧化碳循环的研究在美国再度兴起，并为世界其它国家所关注。由于二氧化碳化学性质稳定、密度高、无毒性、低成本，循环系统简单、结构紧凑、效率高、可空冷，超临界二氧化碳循环可以与各种热源组合成发电系统，被认为在火力发电、核能发电、太阳能热发电、余热发电、地热发电、生物质发电等领域均具有良好的应用前景。

[0005] 采用超临界二氧化碳循环可以最大限度地整合地热能、太阳能和常规锅炉热能，不但可以提高能源综合利用率，并且系统简单、结构紧凑、运行灵活，非常适用于地热能、太阳能丰富，但缺少水源的地区。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是：如何将多种能源形式，包括可再生和不可再生能源，整合到超临界二氧化碳循环，构成新型的发电系统，发挥超临界二氧化碳循环可与多种能源耦合的优势，实现多能互补，提高能源综合利用效率，并降低设备投资。

[0007] 为了解决上述技术问题，本发明的技术方案是提供一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统，其特征在于：由超临界二氧化碳循环回路、地热注采回路、太阳能热转换回路组成；

[0008] 所述超临界二氧化碳循环回路包括压缩机，压缩机出口分别连接低温回热器高压侧进口和地热能加热器二氧化碳工质侧进口，低温回热器高压侧出口与地热能加热器二氧化碳工质侧出口连接高温回热器高压侧进口，高温回热器高压侧出口连接太阳能加热器二氧化碳工质侧进口，太阳能加热器二氧化碳工质侧出口连接锅炉进口，锅炉出口连接透平进气口，压缩机、透平、发电机同轴相连；透平排气口连接高温回热器低压侧进口，高温回热器低压侧出口连接低温回热器低压侧进口，低温回热器低压侧出口连接预冷器进口，预冷器出口连接冷却器工质进口，冷却器工质出口连接压缩机进口；

[0009] 所述地热注采回路包括深入地下的注入井和生产井，注入泵出口连接注入井，生产井出口连接地热能换热器的地热携热介质侧的进口，地热能换热器的地热携热介质侧的出口连接注入泵的进口，地热能换热器的中间传热介质侧进口、出口分别与地热能加热器的中间传热介质侧出口、太阳能补热器中间传热介质侧进口连接，太阳能补热器中间传热介质侧出口连接地热能加热器的中间传热介质侧进口；

[0010] 所述太阳能热转换回路包括太阳能聚光集热系统，循环泵出口连接太阳能聚光集热系统的进口和三通切换阀的第一端口，三通切换阀的第二端口连接储热装置换热器一端，太阳能聚光集热系统的出口连接储热装置换热器另一端和所述太阳能加热器传热介质侧的进口，储热装置换热器连接储热装置；所述太阳能加热器传热介质侧的出口连接所述太阳能补热器传热介质侧进口，所述太阳能补热器传热介质侧出口连接溴化锂吸收式制冷机热源进口，溴化锂吸收式制冷机热源出口连接循环泵进口和三通切换阀的第三端口，溴化锂吸收式制冷机的冷媒水进口、出口分别与所述冷却器的冷媒水出口、进口相连。

[0011] 优选地，所述超临界二氧化碳循环回路还包括用于旁路所述太阳能加热器第一旁路阀，第一旁路阀进口、出口分别连接所述太阳能加热器进口、出口；当没有太阳能可以提供时，太阳能加热器被旁路掉，二氧化碳工质直接进入锅炉。

[0012] 优选地，所述超临界二氧化碳循环回路还包括用于旁路所述锅炉的第二旁路阀，第二旁路阀进口、出口分别连接所述锅炉进口、出口；当太阳能充足时，不需要锅炉补热，锅炉被旁路掉，二氧化碳工质直接进入透平。

[0013] 优选地，所述锅炉连接空气预热器，空气预热器为空冷预热器或水冷预热器；通过空气预热器回收排烟热量用于加热新空气；由于锅炉进口的二氧化碳工质温度较高，造成锅炉排烟温度高，通过空气预热器回收排烟热量用于加热新空气，这种空气预热器的工作温度高于常规的锅炉空气预热器。

[0014] 优选地，所述溴化锂吸收式制冷机与冷却塔相连。

[0015] 优选地，所述压缩机进口二氧化碳工质温度不超过35℃，且温度波动不超过±1.5℃；所述透平进口二氧化碳工质温度不低于400℃、压力不低于18MPa；所述发电机的额定输出功率为10MWe以上；所述生产井输出的携热介质的温度为100℃以上。

[0016] 优选地，所述太阳能聚光集热系统为塔式、槽式或菲涅尔式太阳能热系统，工作温度不低于300℃，采用的传热介质为导热油、熔盐或其它适用介质；所述溴化锂吸收式制冷机为双效制冷机。

[0017] 优选地，所述地热能加热器与地热能换热器之间的中间传热介质为水；所述地热能注采回路的携热介质为水或超临界二氧化碳。

[0018] 优选地，所述锅炉为燃煤、燃气、燃油或生物质直燃锅炉，锅炉配有脱硫、脱硝装置及其它必要的环保设施。

[0019] 本发明还提供了一种基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电方法，其特征在于：采用上述的基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统，步骤为：

[0020] 冷态的二氧化碳工质进入压缩机，压力和温度升高；压缩机出口的二氧化碳工质分两路：一路经低温回热器吸收透平排出工质的低温段热量，另一路经地热能加热器吸收地热能及部分低温太阳能的热量；然后两路汇合进入高温回热器吸收透平排出工质的高温段热量，高温回热器出来的工质经太阳能加热器吸收高温太阳能的热量，再直接进入透平或经锅炉补热后进入透平做功，推动发电机和压缩机工作；透平排出的工质依次经高温回热器、低温回热器释放部分热量，最后经预冷器和冷却器冷却后，再回到压缩机，完成超临界二氧化碳循环发电；

[0021] 地热能采集分为注采回路和中间传热回路，两者通过地热能换热器连接，并将携热介质与中间传热介质隔开；注入泵将携热介质通入注入井，携热介质携带地热能从生产井输出，通过地热能换热器传递给中间传热介质，中间传热介质再通过太阳能补热器加热，最后进入地热能加热器，将热量传递给二氧化碳工质；

[0022] 当有足够的太阳光照时，太阳能聚光集热系统吸收太阳光辐射热量，三通切换阀切换至循环泵的进口与储热装置换热器相通，在循环泵的驱动下，传热介质从太阳能聚光集热系统吸收热量，加热后的传热介质一部分通过储热装置换热器将热量传递给储热装置，另一部分依次传递给太阳能加热器和太阳能补热器；由于光照强烈时气温也相对高，则用太阳能补热器输出的传热介质驱动溴化锂吸收式制冷机工作，产生冷量，通过冷却器冷却二氧化碳工质；

[0023] 当日落后，将三通切换阀切换至循环泵的出口与储热装置换热器相通，且传热介质不进入太阳能聚光集热系统，储热装置将储存的热量通过储热装置换热器传递给传热介质，再送往上述的用热设备。

[0024] 优选地，所述太阳能加热器出来的二氧化碳工质，根据需要决定是否进入锅炉补热，如果不需要，则将锅炉旁路。

[0025] 优选地，当超临界二氧化碳循环回路在额定负载下发电时，地热注采回路保持稳定的地热采集量，太阳能热转换回路的供热量会随着昼夜变化或天气变化有所起伏；随着太阳能加热器热功率的变化，锅炉调节热功率，使总的热功率保持稳定：当没有太阳能热可用时，太阳能热转换回路不工作，将太阳能加热器旁路。

[0026] 与现有技术相比，本发明具有如下有益效果：

[0027] 1、本发明中多种能源相结合，高温、低温热源互补，通过超临界二氧化碳循环实现多能混合发电，并利用超临界二氧化碳循环的高效率优势，可显著提高能源的综合利用效率。

[0028] 2、本发明十分适合于地热能丰富的地区，而这些地区的太阳能资源往往也很丰富，有利于更加充分地开发利用地热能和太阳能。

[0029] 3、本发明中多种能源共同一套循环系统，设备投资成本相对较少。

附图说明

[0030] 图1为本实施例提供的基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统结构示意图；

[0031] 其中：1-压缩机，2-低温回热器，3-地热能加热器，4-高温回热器，5-太阳能加热器，6-第一旁路阀，7-第二旁路阀，8-锅炉，9-空气预热器，10-透平，11-发电机，12-预冷器，13-注入泵，14-注入井，15-生产井，16-地热能换热器，17-循环泵，18-太阳能聚光集热系统，19-储热装置换热器，20-储热装置，21-三通切换阀，22-太阳能补热器，23-溴化锂吸收式制冷机，24-冷却器，25-冷却塔。

具体实施方式

[0032] 下面结合具体实施例，进一步阐述本发明。

[0033] 图1为本实施例提供的基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统结构示意图，所述的基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统由以下部件组成：

[0034] 压缩机1，用于压缩二氧化碳工质，提高压力；

[0035] 低温回热器2，具有高压侧进口、高压侧出口、低压侧进口、低压侧出口，压缩机1出口的一路高压二氧化碳工质经由高压侧进口进入低温回热器2，再由高压侧出口输出至高温回热器4，同时，所述高压二氧化碳工质在低温回热器2被经由低压侧进口进入的高温回热热器4低压侧出口排出的低压二氧化碳工质加热，放热后的低压二氧化碳工质再由低温回热器2低压侧出口输出到预冷器12；

[0036] 地热能加热器3，通过传热介质加热压缩机1出口的另一路高压二氧化碳工质，加热后输出至高温回热器4，传热介质通过循环回路连接地热能加热器3、太阳能补热器22和地热能换热器16；

[0037] 高温回热器4，具有高压侧进口、高压侧出口、低压侧进口、低压侧出口，高压二氧化碳工质经由高压侧进口进入高温回热器4，再由高压侧出口输出至太阳能加热器5，同时，高压二氧化碳工质在高温回热器4被经由低压侧进口进入的透平10排出的低压二氧化碳工质加热，放热后的低压二氧化碳工质再由低压侧出口输出到低温回热热器2；

[0038] 太阳能加热器5，通过传热介质加热高温回热热器4高压侧出口的一路高压二氧化碳工质，加热后进入锅炉8进一步加热提高温度，传热介质通过循环回路连接太阳能加热器5、太阳能聚光集热系统18和储热装置换热器19；

[0039] 第一旁路阀6，用于旁路太阳能加热器5；

[0040] 第二旁路阀7，用于旁路锅炉8；

[0041] 锅炉8，用于加热来自太阳能加热器5的二氧化碳工质，加热后输出至透平10；

[0042] 空气预热器9，用锅炉8排烟预热进入锅炉8的新空气；

[0043] 透平10，与压缩机1和发电机11同轴，轴功传递给压缩机1和发电机11，做功后的二氧化碳工质经由低压侧进口输入高温回热器4；

[0044] 发电机11，用于将透平10的一部分轴功转变为电能；

[0045] 预冷器12，用于冷却低温回热热器2低压侧出口的二氧化碳工质；

[0046] 注入泵13，用于将开采地热的携热介质增压后输入至注入井14中；

[0047] 注入井14，低温携热介质进入地热源的通道；

[0048] 生产井15，高温携热介质从地热源输出的通道；

[0049] 地热能换热器16，用于将携热介质的热量传递给的中间传热介质；

[0050] 循环泵17，用于驱动传热介质流动，通过传热介质从太阳能聚光集热系统18中吸收热量，然后传热给储热装置换热器19、太阳能加热器5、太阳能补热器22、溴化锂吸收式制冷机23；

[0051] 太阳能聚光集热系统18，用于吸收太阳光辐射能量并转换为热能，；

[0052] 储热装置换热器19，用于将太阳能热传递给储热装置20；

[0053] 储热装置20，用于储存太阳能热；

[0054] 三通切换阀21，用于切换传热介质流经储热装置换热器19或流经太阳能聚光集热系统18；

[0055] 太阳能补热器22，用于加热来自地热能换热器16的中间传热介质；

[0056] 溴化锂吸收式制冷机23，用于产生冷量，冷量通过冷媒输出至冷却器24，产生的热量由冷却塔25排出；

[0057] 冷却器24，用于冷却来自预冷器12的二氧化碳工质，再进入压缩机1；

[0058] 冷却塔25，用于将溴化锂吸收式制冷机排出热量释放至环境中。

[0059] 系统的各个设备之间通过管道连接，根据系统控制需要，管道上可布置阀门、流体机械、仪表。组成系统的其它部分还有辅助设施、电气系统、仪控系统等，以及为满足安全、环保要求的设施。

[0060] 压缩机1、低温回热器2、地热能加热器3、高温回热器4、太阳能加热器5、第一旁路阀6、第二旁路阀7、锅炉8及其空气预热器9、透平10、发电机11、预冷器12、冷却器24构成超临界二氧化碳循环回路。

[0061] 注入泵13、注入井14、生产井15、地热能换热器16构成地热注采回路。

[0062] 循环泵17、太阳能聚光集热系统18、储热装置换热器19、储热装置20、三通切换阀21、太阳能补热器22、溴化锂吸收式制冷机23、冷却器24、冷却塔25构成太阳能热转换回路。

[0063] 超临界二氧化碳循环回路通过地热能加热器3及连接管路与地热注采回路相联。

[0064] 超临界二氧化碳循环回路通过太阳能加热器5、冷却器24及连接管路与太阳能热转换回路相联。

[0065] 太阳能热转换回路通过太阳能补热器22及连接管路与地热能注采回路相联。

[0066] 上述的基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统的工作方法如下：

[0067] 当超临界二氧化碳循环回路在额定负载下发电时，地热注采回路保持稳定的地热采集量，太阳能热转换回路的供热量会随着昼夜变化或天气变化有所起伏，随着太阳能加热器5热功率的变化，锅炉8调节热功率，使总的热功率保持稳定。在这样的额定工况下，注入泵13将冷态的携热介质通过注入井14输入至地热源，热态的携热介质从生产井15产出，然后进入地热能换热器16，地热能换热器16通过中间传热介质将地热能经太阳能补热器22补热后传递给地热能加热器3。当有足够的太阳光照时，太阳能聚光集热系统18吸收太阳光

辐射热量，三通切换阀21切换至循环泵17的进口与储热装置换热器19相通，在循环泵17的驱动下传热介质从太阳能聚光集热系统18吸收热量，加热后的传热介质一部分通过储热装置换热器19将热量传递给储热装置20，另一部分传递给太阳能加热器5和太阳能补热器22，由于光照强烈时气温也可能较高，则将太阳能补热器22输出的传热介质驱动溴化锂吸收式制冷机23工作，产生冷量，通过冷却器24冷却二氧化碳工质，产生的热量从冷却塔25释放至环境。日落后，将三通切换阀21切换至循环泵17的出口与储热装置换热器19相通，且传热介质不进入太阳能聚光集热系统18，储热装置20将储存的热量通过储热装置换热器19传递给传热介质，再送往太阳能加热器5和太阳能补热器22，并根据需要决定是否将传热介质输入溴化锂吸收式制冷机23。当没有太阳能热可用时，太阳能热转换回路不工作，通过第一旁路阀6旁路太阳能加热器5。在超临界二氧化碳循环回路中，压缩机1将冷态的二氧化碳工质增压至高压，之后分为两路，一路通往低温回热器2吸收热量，另一路通往地热能加热器3吸收热量，然后两路汇合进入高温回热器4吸收热量，接着通往太阳能加热器5吸收热量，再根据需要决定是否进入锅炉8补热，如果不需要则通过第二旁路阀7旁路锅炉8，锅炉8的热功率根据太阳能加热器5的热功率调节，锅炉8排烟热量通过空气预热器9回收部分热量，从第二旁路阀7或锅炉8出来的高温高压二氧化碳工质进入透平10膨胀做功，推动压缩机1和发电机11工作，透平10排出的二氧化碳工质的温度和压力降低，依次进入高温回热器4的低压侧、低温回热器2的低压侧，并将热量回给高压侧的二氧化碳工质，接着进入预冷器12、冷却器24降温，最后再回到压缩机1，如此完成超临界二氧化碳循环发电。

[0068] 额定工况下，假设压缩机1进口温度为30℃，透平10进口温度550℃，透平10进口压力20MPa，透平10排气压力7.5MPa，透平10等熵效率90％，压缩机1等熵效率85％，低温回热器2和高温回热器4的最小温差10℃，并考虑循环的各种损失后计算得到超临界二氧化碳循环效率约为38％。假设地热能热功率为30MW，温度约为180℃；太阳能热功率为60MW(不用于制冷)，温度约为500℃；锅炉8的热功率为40MW；则系统发电功率约为49.4MWe。如果地热能、太阳能、锅炉热能采用常规发电方式各自独立发电，乐观估计：地热能发电效率10％、太阳能发电效率40％、锅炉热能发电效率45％，则总发电功率约为45MWe。这种情况下，基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统发电量比常规发电系统增加9.8％，且发电量提升率随着太阳能热功率的增大而递增。假设没有太阳能，地热能加热器3的热功率仍保持为30MW；锅炉8的热功率为100MW；则系统发电功率仍然约为49.4MWe。对应地，地热能、锅炉热能采用常规发电方式各自独立发电功率约为48MWe。这种情况下，基于超临界二氧化碳循环的多能混合发电系统发电量比常规发电系统增加2.9％。

[0069] 当超临界二氧化碳循环回路在部分负载下发电时，可通过减少生产井15的地热能采集量、太阳能聚光集热系统18的太阳能热采集量、锅炉8热功率的方法实现。太阳能有间歇性问题，地热能不存在类似问题，地热能的热功率可占总热功率的20％以上，配上锅炉后，发电系统具有较好的提供基本负荷的能力，在调峰工况下，地热能的热功率可在0％～100％间任意调整，减少了锅炉的调峰压力，整个发电系统的调峰性能较好。

[0070] 超临界二氧化碳循环回路还可以通过系统优化、压缩机中间冷却、透平再热等方法进一步提高循环效率。

[0071] 应当理解的是，虽然在这里可能使用量术语“第一”、“第二”等等来描述各个单元，但是这些单元不应当受这些术语限制。使用这些术语仅仅是为了将一个单元与另一个单元

进行区分。举例来说，在不背离示例性实施例的范围的情况下，第一单元可以被称为第二单元，并且类似地第二单元可以被称为第一单元。

[0072] 以上所述，仅为本发明的较佳实施例，并非对本发明任何形式上和实质上的限制，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员，在不脱离本发明方法的前提下，还将可以做出若干改进和补充，这些改进和补充也应视为本发明的保护范围。凡熟悉本专业的技术人员，在不脱离本发明的精神和范围的情况下，当可利用以上所揭示的技术内容而做出的些许更动、修饰与演变的等同变化，均为本发明的等效实施例；同时，凡依据本发明的实质技术对上述实施例所作的任何等同变化的更动、修饰与演变，均仍属于本发明的技术方案的范围内。

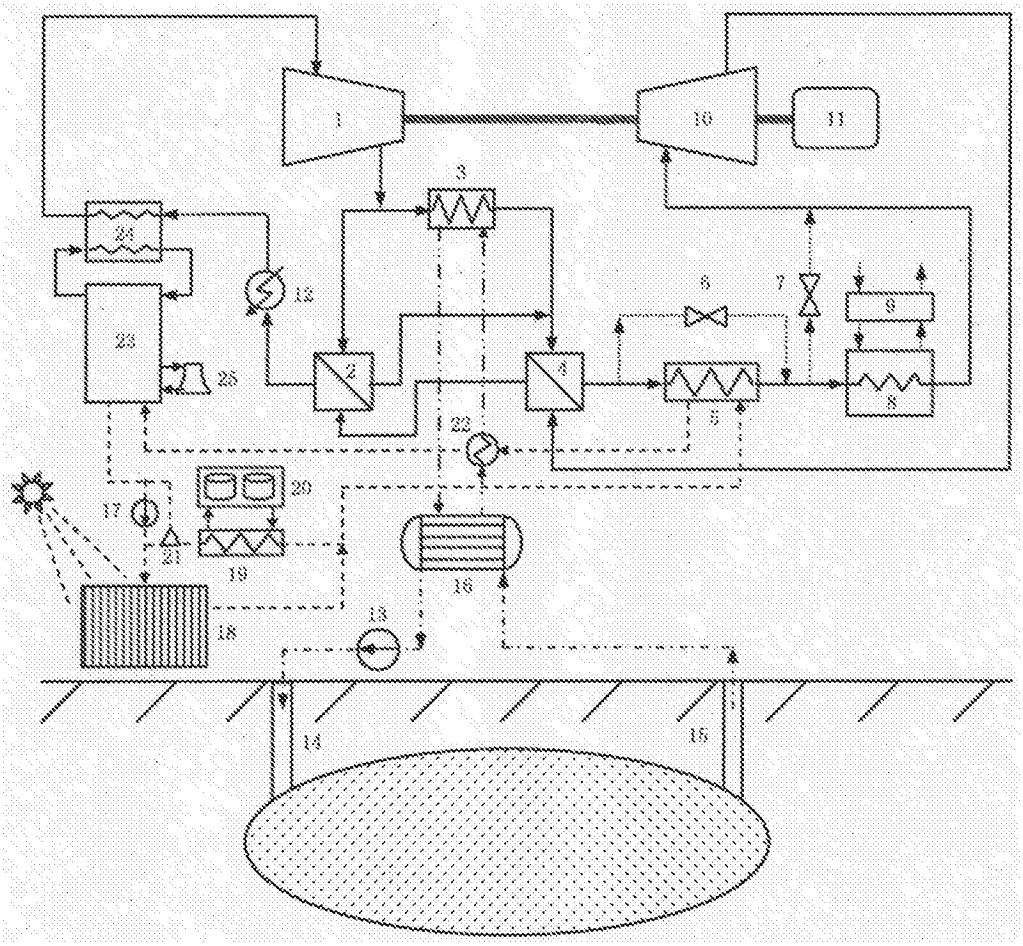


图1