



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105443170 B

(45)授权公告日 2017.09.01

(21)申请号 201510292222.X

审查员 靳文强

(22)申请日 2015.06.01

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105443170 A

(43)申请公布日 2016.03.30

(73)专利权人 上海汽轮机厂有限公司

地址 200240 上海市闵行区江川路333号

(72)发明人 易小兰 范世望 杨建道 何宏

夏晓华

(74)专利代理机构 上海光华专利事务所 31219

代理人 夏怡璐

(51) Int. Cl.

F01K 7/32(2006.01)

F01K 25/10(2006.01)

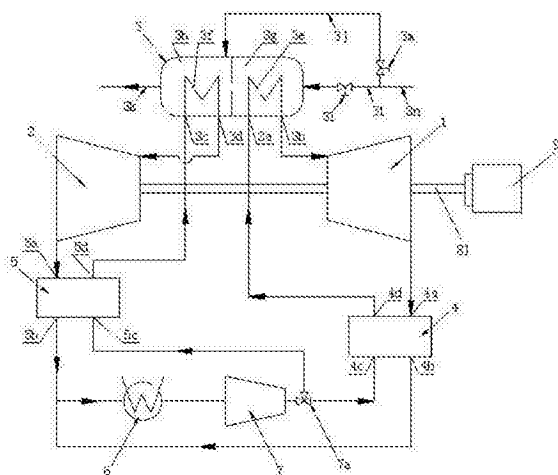
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

高低温超临界二氧化碳余热利用系统

(57)摘要

本发明提供一种高低温超临界二氧化碳余热利用系统,包括高温透平、低温透平、余热回收器、高温回热器、低温回热器、冷凝器、压气机;高温透平的进气口依次连接余热回收器、高温回热器、压气机、冷凝器,冷凝器的进气口再依次连接高温回热器、高温透平的出气口,形成高温透平循环回路;低温透平的进气口依次连接余热回收器、低温回热器、压气机、冷凝器;冷凝器的进气口再依次连接低温回热器、低温透平的出气口,形成低温透平循环回路。本发明以燃气轮机的高温排气或者工业余热/废热作为热源,将高品位热能高效利用,将低品位热能加以利用,从而使能源得到充分利用,提高整体的循环效率。



1. 一种高低温超临界二氧化碳余热利用系统,其特征在于,包括高温透平(1)、低温透平(2)、余热回收器(3)、高温回热器(4)、低温回热器(5)、冷凝器(6)、压气机(7);所述高温透平(1)的进气口依次连接所述余热回收器(3)、所述高温回热器(4)、所述压气机(7)、所述冷凝器(6),所述冷凝器(6)的进气口再依次连接所述高温回热器(4)、所述高温透平(1)的出气口,形成高温透平循环回路;

所述低温透平(2)的进气口依次连接所述余热回收器(3)、所述低温回热器(5)、所述压气机(7)、所述冷凝器(6);所述冷凝器(6)的进气口再依次连接所述低温回热器(5)、所述低温透平(2)的出气口,形成低温透平循环回路;

所述余热回收器(3)包括第一进气口(3a)、第一出气口(3b)、第二进气口(3c)、第二出气口(3d),所述余热回收器(3)的内部设有连接于第一进气口(3a)和第一出气口(3b)之间的第一余热回收管道(3e),所述余热回收器(3)的内部还设有连接于第二进气口(3c)和第二出气口(3d)之间的第二余热回收管道(3f);

所述高温回热器(4)上设有第三进气口(4a)、第三出气口(4b)、第四进气口(4c)、第四出气口(4d);所述低温回热器(5)上设有第五进气口(5a)、第五出气口(5b)、第六进气口(5c)、第六出气口(5d);

所述高温透平(1)的进气口连接所述余热回收器(3)的第一出气口(3b),所述余热回收器(3)的第一进气口(3a)连接所述高温回热器(4)的第四出气口(4d),所述高温回热器(4)的第四进气口(4c)连接所述压气机(7)的出气口,所述压气机(7)的进气口连接所述冷凝器(6)的出气口;所述高温透平(1)的出气口连接所述高温回热器(4)的第三进气口(4a),所述高温回热器(4)的第三出气口(4b)连接所述冷凝器(6)的进气口;

所述低温透平(2)的进气口连接所述余热回收器(3)的第二出气口(3d),所述余热回收器(3)的第二进气口(3c)连接所述低温回热器(5)的第六出气口(5d),所述低温回热器(5)的第六进气口(5c)连接所述压气机(7)的出气口;所述低温透平(2)的出气口连接所述低温回热器(5)的第五进气口(5a),所述低温回热器(5)的第五出气口(5b)连接所述冷凝器(6)的进气口。

2. 根据权利要求1所述的高低温超临界二氧化碳余热利用系统,其特征在于:所述余热回收器(3)包括高温段(3g)和低温段(3h),所述第一余热回收管道(3e)设于所述高温段(3g)内,所述第二余热回收管道(3f)设于所述低温段(3h)内。

3. 根据权利要求2所述的高低温超临界二氧化碳余热利用系统,其特征在于:所述高温段(3g)与所述低温段(3h)之间设有连通管路,所述连通管路上设有第一阀门。

4. 根据权利要求2所述的高低温超临界二氧化碳余热利用系统,其特征在于:所述余热回收器(3)的高温段(3g)设有高温热源气体进入通道(3i),所述余热回收器(3)的低温段(3h)设有中低温热源气体进入通道(3j),所述余热回收器(3)的低温段(3h)还设有热源气体排出通道(3k),所述高温热源气体进入通道(3i)上设有第二阀门(3l),所述中低温热源气体进入通道(3j)上设有第三阀门(3m)。

5. 根据权利要求1至4任一项所述的高低温超临界二氧化碳余热利用系统,其特征在于:所述压气机(7)的出气口与一个三通阀(7a)的进气口连接,所述三通阀(7a)的一个出气口与所述高温回热器(4)的第四进气口(4c)连接,所述三通阀(7a)的另一个出气口与所述低温回热器(5)的第六进气口(5c)连接。

6. 根据权利要求1所述的高低温超临界二氧化碳余热利用系统,其特征在于:还包括一总联动轴(81),所述总联动轴(81)将所述高温透平(1)和所述低温透平(2)串联连接,所述总联动轴(81)的输出端连接外部设备(91)。

7. 根据权利要求1所述的高低温超临界二氧化碳余热利用系统,其特征在于:还包括高温联动轴(82)和低温联动轴(83),所述高温透平(1)和所述低温透平(2)分别与所述高温联动轴(82)和所述低温联动轴(83)连接,所述高温联动轴(82)和所述低温联动轴(83)的输出端分别连接两个外部设备(91)。

高低温超临界二氧化碳余热利用系统

技术领域

[0001] 本发明涉及燃气轮机联合循环系统发电技术领域和工业余热/废热发电技术领域,特别是涉及一种高低温超临界二氧化碳余热利用系统。

背景技术

[0002] 众所周知,地球上的化石能源是非常有限的。随着工业革命以来,石油、煤炭、天然气等化石能源的大力开采使用,当前地球上已探明的剩余化石能源仅能供人类使用百余年。人类文明不能因为化石能源的枯竭而终止,各国研究者们正在积极探究解决能源紧缺的出路。总结起来可以分为两类:一是开发新能源,主要包括核能和可再生能源,如风能、太阳能、水力发电等;二是提高现有化石能源的利用效率,在未来的五十年,化石能源将依然占据能源的主导地位。

[0003] 在燃气轮机布雷顿发电循环中,由于燃气排气温度高(500~600℃),为了提高能源使用效率,常常将之与其他形式的发电循环相耦合,目前主要是蒸汽朗肯循环,构成了燃气-蒸汽联合循环发电系统。但是对于蒸汽朗肯循环,由于水在气液态转化时存在巨大的潜热,其循环效率的提高受到限制。另一方面,以蒸汽为工质的朗肯循环,由于气体密度低、体积流量大,使得蒸汽轮机体积庞大、系统复杂,不论是初期投资还是后期维护都具有相当难度和经济成本。

[0004] 在高耗能行业,如钢铁、水泥、玻璃等,生产过程常伴随有大量的余热/废热排除,温度在300~700℃不等。对这些余热/废热进行高效充分利用是节能减排的重要方向之一。余热发电是余热利用的重要途径,当前对于500℃以上的高温余热发电多采用余热锅炉+蒸汽透平进行回收,而温度在300℃左右的余热很少用于发电。用于余热发电的蒸汽轮机系统除上述所说的体积庞大、系统复杂等缺点外,还有启停时间长、灵活性差等缺点。受上游生产流程、产量波动以及意外事故等的影响,工业余热具有不稳定和间歇性等特点,采用工业余热进行发电时,需要频繁的机组启停。受蒸汽发电系统灵活性的制约,系统的发电效率和可用率大大降低。

[0005] 超临界CO₂最初是作为下一代核电技术的备选工质而开始受到研究者的关注。CO₂气体具有临界压力适中、稳定性好、偏惰性、无毒、储量丰富、成本低等特点,超临界CO₂作为能量转换工质,具有明显的优势。以超临界CO₂布雷顿循环为例,由于CO₂被冷却到拟临界线区,其密度和比热快速增加,因而降低了压缩机耗功并提高了预冷器和回热器中的传热系数。所以相比于在同一透平和压气机进口温度下的理想气体循环,超临界CO₂循环具有较高的效率。此外超临界CO₂系统的一个显著特点是涡轮机械尺寸非常小,相同功率下的超临界CO₂涡轮机约是蒸汽轮机1/30。同时由于超临界CO₂循环发电系统是采用全封闭循环设计,结构相对简单,没有蒸汽循环系统的水处理设备及相关的水处理技术管理人员,没有排污设备及相关的排污操作,简化了管理的程序,省掉很多的维护工作,与蒸汽循环发电系统相比管理维护成本有较大的降低。另外超临界CO₂发电系统启动时间短,灵活性好。

[0006] 目前,以超临界CO₂为工质的发电系统已不再局限于核能领域,研究人员正在积极

研究其在传统的和可再生能源领域的应用,包括化石能电厂、船舶推进系统、聚光太阳能、燃料电池底部动力循环等系统。国际工程学术领域专门设计了一个SCO₂动力循环研讨会,以推进该技术的发展。国内外关于超临界二氧化碳发电系统已有不少相关专利,例如用于太阳能发电领域的“带蓄热的超临界CO₂太阳能热发电系统”(专利公布号:CN102100867A)和“用于太阳能装置的超临界二氧化碳涡轮”(专利公布号:CN101240780A)。这两个发明均是以太阳能为热源,以超临界二氧化碳作为动力循环工质进行发电,前者带蓄热装置可以解决太阳能的间歇性和不稳定性制约,其发电系统简单,属于最基本的循环系统;后者在前者的基础上对进入压缩机的气体分为两部分进行压缩,一部分在回热器换热后直接进入压缩机,另一部分回热器换热后先经过冷凝器预冷再进入压缩机压缩,系统包含一个主压缩机和一个次压缩机,这样设计可以减小换热器的换热温差同时减小冷凝器的换热面积。值得注意的是太阳能加热系统中的传热流体是循环工作的,在应用时不需要考虑传热流体的冷端温度。但是对于废热,其动力循环工质进行热交换后就排入了大气,需要充分吸收其中的热能(也即降低废热的冷端温度),才能提高能源的利用率。

[0007] 美国专利申请文件“Supercritical Carbon Dioxide Power Cycle for Waste Heat Recovery”(专利公布号:US 20140102101A1)公布了一种用于余热回收的超临界二氧化碳发电系统,该发明系统中含有两个透平,一个透平(T1)与发电机同轴,带动发电机输出电能,一个透平(T2)与压缩机(C1)同轴,其产生的机械能直接驱动压缩机工作;进入T1膨胀做功工质由C1进行压缩、并有第一换热器(H1)进行加热,进入T2膨胀做功的工质由另一独立的压缩泵(C2)进行压缩,并由第二换热器(H2)进行加热;系统分为单循环模式和双循环模式,当余热温度高于阈值时开启双循环模式,低于阈值时,切断T2、C1、H2,进入T1的工质由C2进行压缩、H1进行加热。该发明系统考虑了余热热源的温度,并设置了两中循环模式。但是该系统的T2出力必须与C1的耗功相匹配,不能充分发挥T2的出力能力,在能源上造成浪费;另一方面在单循环和双循环两种模式下,T1的进汽参数的温度相差很大,如果双循环模式的进汽温度是其设计工况,必然造成单循环模式下透平效率的显著下降。

发明内容

[0008] 鉴于以上所述现有技术的缺点,本发明要解决的技术问题在于提供一种能够充分利用能源、透平效率高的高低温超临界二氧化碳余热利用系统,以克服现有技术的上述缺陷。

[0009] 为了解决上述技术问题,本发明提供一种高低温超临界二氧化碳余热利用系统,包括高温透平、低温透平、余热回收器、高温回热器、低温回热器、冷凝器、压气机;所述高温透平的进气口依次连接所述余热回收器、所述高温回热器、所述压气机、所述冷凝器,所述冷凝器的进气口再依次连接所述高温回热器、所述高温透平的出气口,形成高温透平循环回路;所述低温透平的进气口依次连接所述余热回收器、所述低温回热器、所述压气机、所述冷凝器;所述冷凝器的进气口再依次连接所述低温回热器、所述低温透平的出气口,形成低温透平循环回路。

[0010] 优选地,所述余热回收器包括第一进气口、第一出气口、第二进气口、第二出气口,所述余热回收器的内部设有连接于第一进气口和第一出气口之间的第一余热回收管道,所述余热回收器的内部还设有连接于第二进气口和第二出气口之间的第二余热回收管道;所

述高温回热器上设有第三进气口、第三出气口、第四进气口、第四出气口；所述低温回热器上设有第五进气口、第五出气口、第六进气口、第六出气口；所述高温透平的进气口连接所述余热回收器的第一出气口，所述余热回收器的第一进气口连接所述高温回热器的第四出气口，所述高温回热器的第四进气口连接所述压气机的出气口，所述压气机的进气口连接所述冷凝器的出气口；所述高温透平的出气口连接所述高温回热器的第三进气口，所述高温回热器的第三出气口连接所述冷凝器的进气口；所述低温透平的进气口连接所述余热回收器的第二出气口，所述余热回收器的第二进气口连接所述低温回热器的第六出气口，所述低温回热器的第六进气口连接所述压气机的出气口；所述低温透平的出气口连接所述低温回热器的第五进气口，所述低温回热器的第五出气口连接所述冷凝器的进气口。

[0011] 进一步地，所述余热回收器包括高温段和低温段，所述第一余热回收管道设于所述高温段内，所述第二余热回收管道设于所述低温段内。

[0012] 更进一步地，所述高温段与所述低温段之间设有连通管路，所述连通管路上设有第一阀门。

[0013] 更进一步地，所述余热回收器的高温段设有高温热源气体进入通道，所述余热回收器的低温段设有中低温热源气体进入通道，所述余热回收器的低温段还设有热源气体排出通道，所述高温热源气体进入通道上设有第二阀门，所述中低温热源气体进入通道上设有第三阀门。

[0014] 再进一步地，所述压气机的出气口与一个三通阀的进气口连接，所述三通阀的一个出气口与所述高温回热器的第四进气口连接，所述三通阀的另一个出气口与所述低温回热器的第六进气口连接。

[0015] 优选地，所述的高低温超临界二氧化碳余热利用系统，还包括一总联动轴，所述总联动轴将所述高温透平和所述低温透平串联连接，所述总联动轴的输出端连接外部设备。

[0016] 优选地，所述的高低温超临界二氧化碳余热利用系统，还包括高温联动轴和低温联动轴，所述高温透平和所述低温透平分别与所述高温联动轴和所述低温联动轴连接，所述高温联动轴和所述低温联动轴的输出端分别连接两个外部设备。

[0017] 如上所述，本发明的高低温超临界二氧化碳余热利用系统，具有以下有益效果：

[0018] 1、本发明以燃气轮机的高温排气或者工业余热/废热作为热源，以超临界二氧化碳作为动力循环工质，通过高温透平和低温透平，可以对不同品位的余热热源进行梯级分段利用，将原本可以利用的高品位热能高效利用，将原本无法利用的低品位热能加以利用，从而使能源得到充分利用，使透平效率高。

[0019] 2、本发明以二氧化碳作为循环工质，且是闭式循环，水或水蒸气不进入压气机和透平，从而对水质的要求降低，无需净水处理。

[0020] 3、本发明不涉及燃烧燃料，不需要消耗燃料，也不存在排放方面的污染问题，且相应地产出电能，拉低了余热回收企业的平均能耗水平和污染物排放量。

[0021] 4、本发明结构简单，部件尺寸小，占地面积小，无论是前期投资还是后期维护的经济成本都相对较低。本发明相对于传统的蒸汽余热回收系统，在投入价值上明显降低；另外，本发明的灵活性好，启停时间短，直接导致系统的可用率得以明显提高，增加了系统的产出价值。

附图说明

[0022] 图1显示为实施例1的高低温超临界二氧化碳余热利用系统的线路连接示意图。

[0023] 图2显示为实施例2的高低温超临界二氧化碳余热利用系统的线路连接示意图。

[0024] 元件标号说明

[0025]	1	高温透平	2	低温透平
[0026]	3	余热回收器	3a	第一进气口
[0027]	3b	第一出气口	3c	第二进气口
[0028]	3d	第二出气口	3e	第一余热回收管道
[0029]	3f	第二余热回收管道	3g	高温段
[0030]	3h	低温段	3i	高温热源气体进入通道
[0031]	3j	中低温热源气体进入通道	3k	热源气体排出通道
[0032]	3l	第二阀门	3m	第三阀门
[0033]	3n	热源气体进入主通道	4	高温回热器
[0034]	4a	第三进气口	4b	第三出气口
[0035]	4c	第四进气口	4d	第四出气口
[0036]	5	低温回热器	5a	第五进气口
[0037]	5b	第五出气口	5c	第六进气口
[0038]	5d	第六出气口	6	冷凝器
[0039]	7	压气机	7a	三通阀
[0040]	81	总联动轴	82	高温联动轴
[0041]	83	低温联动轴	91	外部设备

具体实施方式

[0042] 以下由特定的具体实施例说明本发明的实施方式,熟悉此技术的人士可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点及功效。

[0043] 请参阅图1。须知,本说明书所附图式所绘示的结构、比例、大小等,均仅用以配合说明书所揭示的内容,以供熟悉此技术的人士了解与阅读,并非用以限定本发明可实施的限定条件,故不具技术上的实质意义,任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整,在不影响本发明所能产生的功效及所能达成的目的下,均应仍落在本发明所揭示的技术内容得能涵盖的范围内。同时,本说明书中所引用的如“上”、“下”、“左”、“右”、“中间”及“一”等的用语,亦仅为便于叙述的明了,而非用以限定本发明可实施的范围,其相对关系的改变或调整,在无实质变更技术内容下,当亦视为本发明可实施的范畴。

[0044] 以下,将通过具体实施例来对本发明的高低温超临界二氧化碳余热利用系统进行详细说明。

[0045] 如图1所示,一种高低温超临界二氧化碳余热利用系统,包括高温透平1、低温透平2、余热回收器3、高温回热器4、低温回热器5、冷凝器6、压气机7;所述高温透平1的进气口依次连接所述余热回收器3、所述高温回热器4、所述压气机7、所述冷凝器6,所述冷凝器6的进气口再依次连接所述高温回热器4、所述高温透平1的出气口,形成一条以二氧化碳为循环

工质的高温透平循环回路;所述低温透平2的进气口依次连接所述余热回收器3、所述低温回热器5、所述压气机7、所述冷凝器6;所述冷凝器6的进气口再依次连接所述低温回热器5、所述低温透平2的出气口,形成一条以二氧化碳为循环工质的低温透平循环回路。

[0046] 所述余热回收器3包括第一进气口3a、第一出气口3b、第二进气口3c、第二出气口3d,所述余热回收器3的内部设有连接于第一进气口3a和第一出气口3b之间的第一余热回收管道3e,所述余热回收器3的内部还设有连接于第二进气口3c和第二出气口3d之间的第二余热回收管道3f。

[0047] 所述高温回热器4上设有第三进气口4a、第三出气口4b、第四进气口4c、第四出气口4d,第三进气口4a与第三出气口4b连通,第四进气口4c与第四出气口4d连通;所述低温回热器5上设有第五进气口5a、第五出气口5b、第六进气口5c、第六出气口5d,第五进气口5a与第五出气口5b连通,第六进气口5c与第六出气口5d连通。

[0048] 所述高温透平1的进气口连接所述余热回收器3的第一出气口3b,所述余热回收器3的第一进气口3a连接所述高温回热器4的第四出气口4d,所述高温回热器4的第四进气口4c连接所述压气机7的出气口,所述压气机7的进气口连接所述冷凝器6的出气口;所述高温透平1的出气口连接所述高温回热器4的第三进气口4a,所述高温回热器4的第三出气口4b连接所述冷凝器6的进气口。

[0049] 所述低温透平2的进气口连接所述余热回收器3的第二出气口3d,所述余热回收器3的第二进气口3c连接所述低温回热器5的第六出气口5d,所述低温回热器5的第六进气口5c连接所述压气机7的出气口;所述低温透平2的出气口连接所述低温回热器5的第五进气口5a,所述低温回热器5的第五出气口5b连接所述冷凝器6的进气口。

[0050] 本实施例中,高低温超临界二氧化碳余热利用系统,还包括一总联动轴81,总联动轴81将高温透平1和低温透平2串联连接,总联动轴81的输出端连接外部设备91。总联动轴81为单轴,高温透平1和所述低温透平2共同通过总联动轴81,驱动外部设备91,当外部设备91是风机、压缩机、泵等(含本系统内的从动设备),总联动轴81驱动外部设备做功;当外部设备是发电机时,外部设备驱动发电机发电。

[0051] 本发明的所述余热回收器3包括高温段3g和低温段3h,所述第一余热回收管道3e设于所述高温段3g内,燃气轮机的排气或者工业高温烟气等高温热源气体与第一余热回收管道3e内的二氧化碳循环工质进行热交换,将第一余热回收管道3e内的二氧化碳气体加热成高温气体;所述低温段3h是指高温热源气体已经与第一余热回收管道3e内的二氧化碳循环工质进行了热交换,温度已经大大降低,或者热源气体是工业中低温烟气,总之热源气体在400℃以下的部分,所述第二余热回收管道3f设于所述低温段3h内,400℃以下的热源气体与第二余热回收管道3f内的二氧化碳循环工质进行热交换。

[0052] 本发明的所述余热回收器3实质上就是一个热交换器,由于热交换器的两侧的气体压力相差甚大(烟气压力通常是环境大气压力,而CO₂工质压力则 $\geq 22\text{MPa}$),因此所述余热回收器3最好采用印刷电路板式换热器,这种换热器能够满足换热过程中的高温高压条件,具有泄漏量少、结构紧凑、高效等优点。

[0053] 所述余热回收器3的高温段3g和低温段3h相互独立,所述高温段3g与所述低温段3h之间设有连通管路,所述连通管路上设有第一阀门(图中未示出)。所述余热回收器3的高温段3g设有高温热源气体进入通道3i,所述余热回收器3的低温段3h设有中低温热源气体

进入通道3j,所述余热回收器3的低温段3h还设有热源气体排出通道3k,所述高温热源气体进入通道3i上设有第二阀门3l,所述中低温热源气体进入通道3j上设有第三阀门3m,所述高温热源气体进入通道3i和所述中低温热源气体进入通道3j汇合于热源气体进入主通道上。

[0054] 所述压气机7的出气口与一个三通阀7a的进气口连接,所述三通阀7a的一个出气口与所述高温回热器4的第四进气口4c连接,所述三通阀7a的另一个出气口与所述低温回热器5的第六进气口5c连接。通过调整三通阀7a的阀位可以进行高温回热器4和低温回热器5上的流量分配。

[0055] 本发明的各部件用耐高温、高压的管线相连接。本发明的高低温超临界二氧化碳余热利用系统分为高温透平循环回路和低温透平循环回路,这两个循环回路内的工质不是完全分离的:在进入冷凝器6前,两循环回路的工质汇合为一股,一起经过冷凝器6冷却至临界点以下,再进入压气机7,由压气机7压缩成为高压气体,在压气机7的出气口,循环工质(二氧化碳)再次分为两股,一股进入高温透平循环回路:冷凝器6→压气机7→高温回热器4(第四进气口4c→第四出气口4d)→余热回收器3(第一进气口3a→第一出气口3b)→高温透平1→高温回热器4(第三进气口4a→第三出气口4b)→冷凝器6,一股进入低温透平循环回路:冷凝器6→压气机7→低温回热器5(第六进气口5c→第六出气口5d)→余热回收器3(第二进气口3c→第二出气口3d)→低温透平2→低温回热器5(第五进气口5a→第五出气口5b)→冷凝器6。进入高温透平循环回路的CO₂工质首先进入高温回热器4(第四进气口4c→第四出气口4d)内,与高温透平1的排气进行热交换,温度升高,然后再进入余热回收器3的高温段3g,在第一余热回收管道3e内被燃气轮机排气或工业高温烟气加热成为高温高压气体,然后再进入高温透平1膨胀做功,做功后的CO₂气体压力降至临界点以下,但是仍有较高温,所以其经过高温回热器4(第三进气口4a→第三出气口4b),与从压气机7出来的、进入高温回热器4(第四进气口4c→第四出气口4d)的气体进行热交换,其后进入冷凝器6的前端,与低温透平循环回路的CO₂工质汇合。进入低温透平循环回路的CO₂工质首先进入低温回热器5(第六进气口5c→第六出气口5d)内,与低温透平2的排气进行热交换,温度升高,然后再进入余热回收器3的低温段3h,在第二余热回收管道3f内被燃气轮机排气或工业中低温烟气加热成为中低温高压气体,然后再进入低温透平2膨胀做功,做功后的CO₂气体压力降至临界点以下,但是仍有一定温度,所以其经过低温回热器5(第五进气口5a→第五出气口5b),与从压气机7出来的、进入低温回热器5(第六进气口5c→第六出气口5d)的气体进行热交换,其后进入冷凝器6的前端,与高温透平循环回路的CO₂工质汇合。两股气体汇合成一股后,再次进入冷凝器6开始新的循环。

[0056] 本发明的所述高温回热器4、低温回热器5实质上均均是热交换器,高温回热器4使高温透平1的排气与从压气机7出来的、将要进入高温透平循环回路的气体进行热交换;低温回热器5使低温透平2的排气与从压气机7出来的、将要进入低温透平循环回路的气体进行热交换。

[0057] 本发明的高温透平1和低温透平2的排气压力大致相当,具体的排气压力根据实际工况进行优选,此主要与冷凝器性能和外界冷源有关,同时也与热源的最高温度有关。

[0058] 本发明所述的冷凝器6,受其换热性能和环境影响,决定了系统的冷端温度。如在热带、沙漠或内陆干旱地区,冷凝器出口所能允许的最低温度往往高于二氧化碳的临界温

度 T_{cr} ,此时该热力循环为布雷顿循环。如高纬度地区或者冬季或者有可供利用的外界冷源(如LNG、深层海水等),可以使循环的冷端温度明显低于二氧化碳的临界温度 T_{cr} ,冷凝器出口的循环工质为液态,压气机7由泵替换,此时该热力循环为朗肯循环。

[0059] 本发明的高低温超临界二氧化碳余热利用系统的使用方法是:当所述热源气体为燃气轮机的排气或者工业高温烟气等高温热源气体,热源气体高于一定值(比如 400°C)时,热源气体经过高温热源气体进入通道3i进入所述余热回收器3的高温段3g,与第一余热回收管道3e内的循环工质进行热交换,经过热交换温度下降到 400°C 以下的热源气体由高温段3g与低温段3h之间的连通管路进入所述余热回收器3的低温段3h, 400°C 以下的热源气体在低温段3h内与第二余热回收管道3f内的循环介质进行热交换,之后,经过热交换温度又大大降低的热源气体由热源气体排出通道3k排出所述余热回收器3。这种情况下,关闭第三阀门3m,避免高温热源气体直接接入所述余热回收器3的低温段3h;调整三通阀7a的阀位在合理的位置,使高温透平循环回路、低温透平循环回路都投入工作。

[0060] 综上所述,本发明的高低温超临界二氧化碳余热利用系统,以燃气轮机的高温排气或工业余热/废热作为热源,以 CO_2 作为动力循环工质,通过设计高温透平和低温透平,充分利用了排气热能,实现了热能的梯级利用。当用于燃气轮机联合循环时,本发明不需要对燃气轮机部分做任何改动,并且适用于任何燃气轮机发电机组。对于工业余热/废热的回收利用,可以根据热源温度决定是同时开启高、低温透平,还是切断高温透平仅开启低温透平。本发明可以使高温透平始终工作在高温参数段,使低温透平始终工作在低温参数段,保证了透平始终在其设计点附近工作,从而使能源得到充分利用,使透平效率高。所以,本发明有效克服了现有技术中的种种缺点而具高度产业利用价值。

[0061] 实施例2

[0062] 本实施例与实施例1的区别在于,本实施例的高低温超临界二氧化碳余热利用系统,还包括高温联动轴82和低温联动轴83,高温透平1和低温透平2分别与高温联动轴82和低温联动轴83连接,高温联动轴82和低温联动轴83的输出端分别连接两个外部设备91。高温联动轴82和低温联动轴83就是双轴结构,高温联动轴82和低温联动轴83分别驱动相应的外部设备91工作。

[0063] 当所述热源气体为工业中低温烟气等中低温热源气体时,热源气体低于一定值(比如 400°C)时,关闭第二阀门3l,同时关闭高温段3g与低温段3h之间的连通管路上的第一阀门,使热源气体通过中低温热源气体进入通道3j,直接进入所述余热回收器3的低温段3h,同时调整三通阀7a的阀位,使压气机7的排气全部进入低温回热器5,使低温透平循环回路投入工作,使高温透平循环回路处于关闭状态。此时,低温联动轴83驱动对应的外部设备91做功或者发电。

[0064] 上述实施例仅例示性说明本发明的原理及其功效,而非用于限制本发明。任何熟悉此技术的人士皆可在不违背本发明的精神及范畴下,对上述实施例进行修饰或改变。因此,举凡所属技术领域中具有通常知识者在未脱离本发明所揭示的精神与技术思想下所完成的一切等效修饰或改变,仍应由本发明的权利要求所涵盖。

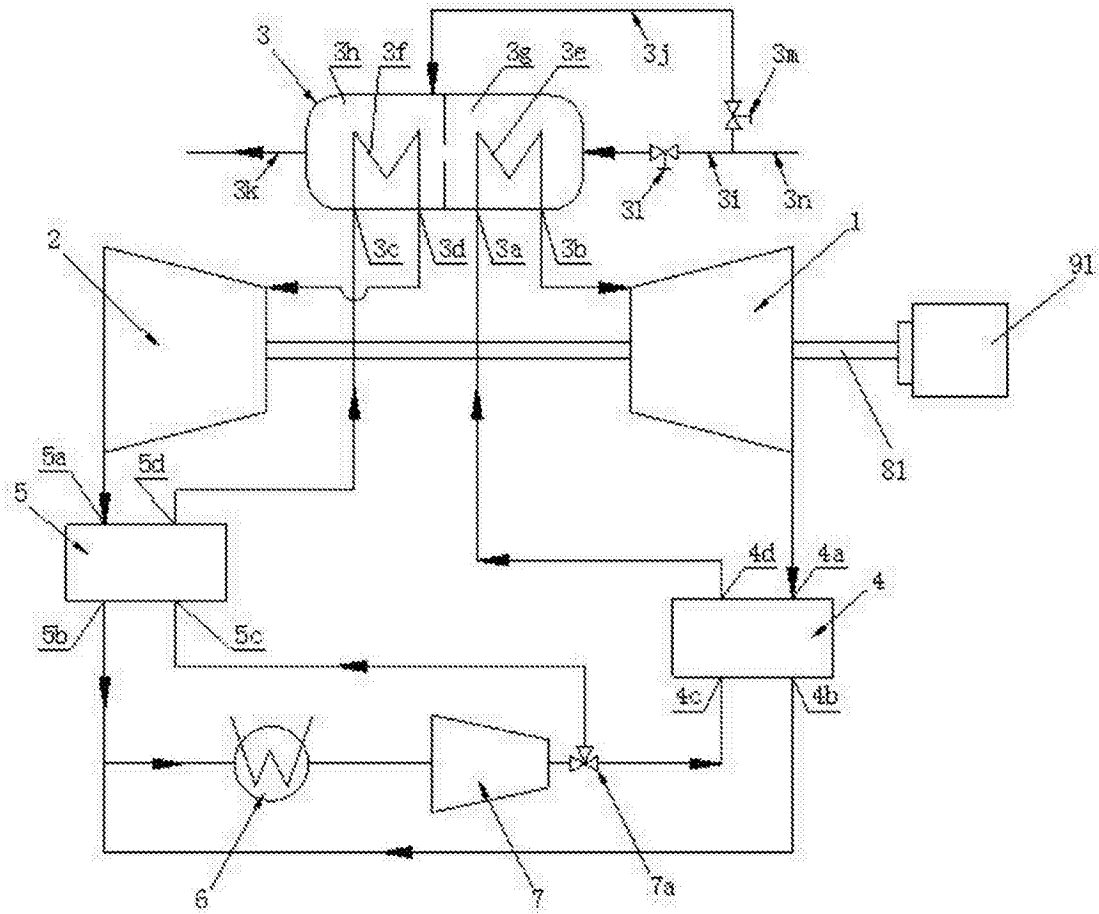


图1

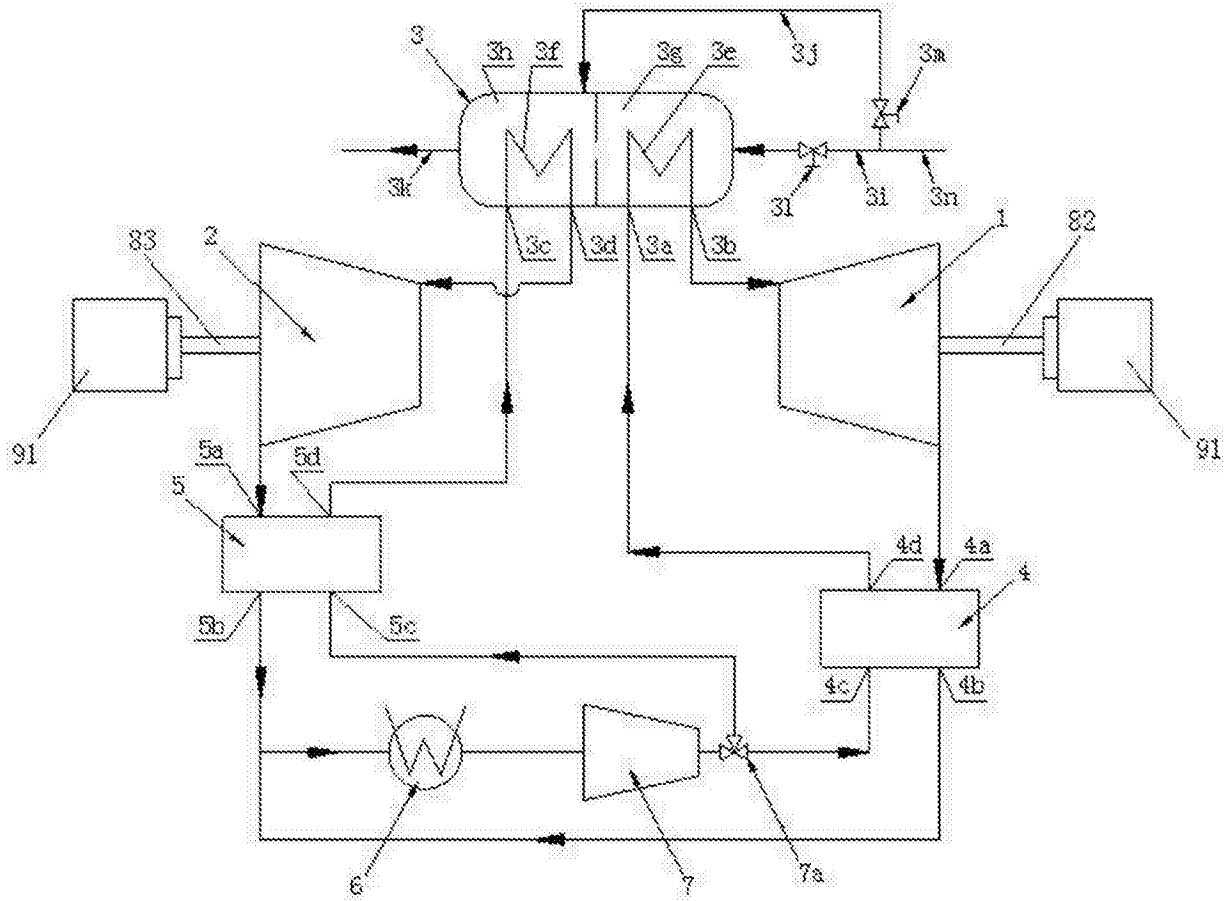


图2