



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108105747 B

(45)授权公告日 2019.05.31

(21)申请号 201711228111.8

F01K 3/18(2006.01)

(22)申请日 2017.11.29

F01K 7/32(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

F01K 11/02(2006.01)

申请公布号 CN 108105747 A

(43)申请公布日 2018.06.01

(73)专利权人 华北电力大学

地址 102206 北京市昌平区朱辛庄北农路2号

(72)发明人 徐进良 孙恩慧 雷蕾

(74)专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司 11246

代理人 黄家俊

(56)对比文件

CN 106870037 A, 2017.06.20, 全文.

CN 104727868 A, 2015.06.24, 全文.

US 2013033044 A1, 2013.02.07, 全文.

张一帆,等.超临界二氧化碳再压缩再热火力发电系统关键参数的研究.《动力工程学报》.2016,第36卷(第10期),第827-833,852页.

孙恩慧,等.超临界CO2再压缩/再热燃煤发电系统热力循环.《科学通报》.2019,第1-11页.

审查员 沈春艳

(51)Int.Cl.

F22B 33/18(2006.01)

F22D 1/36(2006.01)

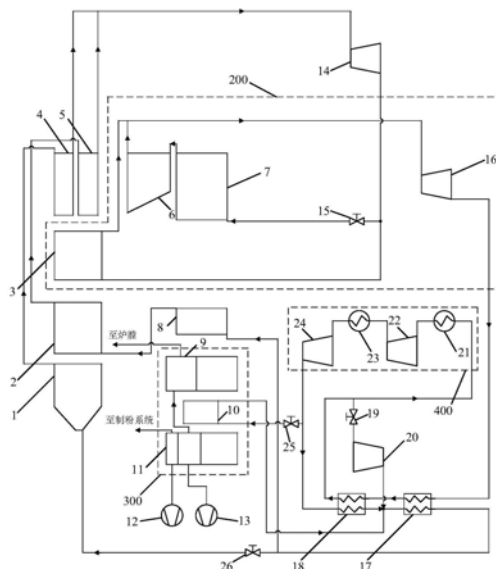
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤发电尾部高温烟气余热利用系统

(57)摘要

本发明公开了属于高效发电设备领域的一种超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤发电尾部高温烟气余热利用系统,本系统中超临界CO<sub>2</sub>工质在锅炉中的流动采用分流的配置方式;烟气余热回收系统中的尾部空预器采用双级布置的形式;循环引入再热及中间冷却的布置形式。通过在锅炉中工质分流配置能够降低锅炉压降,通过尾部空预器的双级布置能够使二次风达到预设值,进一步吸收空预器无法吸收的尾部烟气剩余热量,降低锅炉排烟热损失;通过烟气冷却器配合空预器布置解决尾部烟气余热吸收难题。本发明解决超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环与燃煤火力发电耦合的诸多关键问题,且系统布置简单、运行参数稳定、热力系统及锅炉效率较高。



1. 一种超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤发电尾部高温烟气余热利用系统,其特征在于,包括:第一冷却壁(1)、第二冷却壁(2)、高温回热器(17)、低温回热器(18)、辅助压缩机(20)、冷却器(21)、辅助压缩机分流阀门(19)、烟气冷却器分流阀门(25)、冷却壁分流阀门(26)、再热布置系统(200)、烟气余热回收系统(300)和压缩系统(400);其中再热布置系统(200)先将输入的工质送入锅炉内吸热,随后做功,且再热布置系统(200)提高工质在锅炉入口处的温度,使得锅炉尾部烟气余热提高;烟气余热回收系统(300)进一步吸收空预器无法吸收的尾部烟气剩余热量,降低锅炉排烟热损失;压缩系统(400)使得工质在锅炉入口处的温度和质量流量进一步降低;

所述再热布置系统(200)工质管道的出口、高温回热器(17)低压侧的入口、高温回热器(17)低压侧的出口、低温回热器(18)低压侧的入口顺序依次相连,低温回热器(18)低压侧的出口分别与压缩系统(400)的入口和辅助压缩机分流阀门(19)相连,辅助压缩机分流阀门(19)和辅助压缩机(20)的入口相连,压缩系统(400)的出口分别与低温回热器(18)高压侧的入口和烟气冷却器分流阀门(25)相连,烟气冷却器分流阀门(25)与烟气余热回收系统(300)工质管道的入口相连;辅助压缩机(20)的出口、低温回热器(18)高压侧的出口和烟气余热回收系统(300)工质管道的出口全都连接至高温回热器(17)高压侧的入口,高温回热器(17)高压侧的出口分别与冷却壁分流阀门(26)和省煤器(8)工质管道的入口相连,省煤器(8)工质管道的出口与第二冷却壁(2)工质管道的入口相连,冷却壁分流阀门(26)与第一冷却壁(1)工质管道的入口相连。

2. 根据权利要求1所述的超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤发电尾部高温烟气余热利用系统,其特征在于,所述辅助压缩机分流阀门(19)分流量为30.98-35.82%;所述烟气冷却器分流阀门(25)和所述第一冷却壁分流阀门(26)的分流量全为50%。

3. 根据权利要求1所述的超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤发电尾部高温烟气余热利用系统,其特征在于,所述烟气余热回收系统(300)由第二空气预热器(9)、烟气冷却器(10)、第一空气预热器(11)、送风机(13)和一次风机(12)组成,其中烟气冷却器(10)工质管道的入口为烟气余热回收系统(300)工质管道的入口,烟气冷却器(10)的出口为烟气余热回收系统(300)工质管道的出口;

所述第一空气预热器(11)为三分仓式空气预热器,包括:一次风空气通道、二次风空气通道和烟气通道;所述第二空气预热器(9)为二分仓式空气预热器,包括二次风空气通道和烟气通道;第一空气预热器(11)的一次风空气通道入口与一次风机(12)相连,第一空气预热器(11)的一次风空气管道出口与制粉系统相连,第一空气预热器(11)的二次风空气管道入口与送风机(13)相连,第一空气预热器(11)的二次风空气通道出口和第二空气预热器(9)的二次风空气通道入口相连,第二空气预热器(9)的二次风空气管道出口与燃烧器相连;烟气经省煤器(8)烟气通道的出口流出后与第二空气预热器(9)内的空气换热,随后与烟气冷却器(10)内的超临界二氧化碳工质管道换热,最后与第一空气预热器(11)内的空气换热。

4. 根据权利要求3所述的超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤发电尾部高温烟气余热利用系统,其特征在于,所述省煤器(8)、第二空气预热器(9)、烟气冷却器(10)和第一空气预热器(11)顺序安装于烟气的流经区域内,烟气在流过流经区域内的各个装置的过程中将烟气中的热量通过各个装置的受热面传递给各个装置工质管道内的工质。

5. 根据权利要求3所述的超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤发电尾部高温烟气余热利用系统, 其特征在于, 所述省煤器(8)最接近炉膛, 第一空气预热器(11)最接近烟道出口。

6. 根据权利要求3所述的超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤发电尾部高温烟气余热利用系统, 其特征在于, 所述一次风机(12)所提供的一次风量占总风量的19%, 所述送风机(13)所提供的二次风量占总风量的81%。

## 超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤发电尾部高温烟气余热利用系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于高效发电设备领域,具体涉及一种超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤发电尾部高温烟气余热利用系统。

### 技术背景

[0002] 煤炭作为一次能源在全球用能结构中扮演着重要角色,其储量大、易开采、使用经验丰富,以中国为例,煤在中国一次能源消费结构中占75%,为世界燃煤消费总量的四分之一。尤其是电力部门,火电机组占总装机容量的70%以上,其中绝大多数为燃煤的汽轮机电站。然而煤炭的使用加重了环保负担,加剧了温室效应,在这样的现状下,开发先进动力循环技术提高机组性能对煤炭高效清洁利用具有重要意义。

[0003] 超临界二氧化碳布雷顿循环(S-CO<sub>2</sub>循环)作为一类先进动力循环近年来在太阳能及核能领域研究较多,但在燃煤火力发电领域研究较少。S-CO<sub>2</sub>循环效率高,系统简单,结构紧凑,且CO<sub>2</sub>工质临界参数较低、化学性质不活泼,这些特性使S-CO<sub>2</sub>循环获得了越来越多的关注。众多学者以S-CO<sub>2</sub>循环为基础针对不同热源探究高效、合理的热力系统布置形式。

[0004] 故结合我国能源消费国情,将S-CO<sub>2</sub>循环引入燃煤火力发电领域,构建合理、高效的燃煤火力发电系统,为高效低污染发电提供变革性技术。

[0005] 目前诸多S-CO<sub>2</sub>循环的变种中再压缩循环(recompression cycle)具有明显的效率优势,但当该循环采用再热布置时,CO<sub>2</sub>工质在锅炉入口处的温度会大幅提升,这造成了尾部高温烟气余热利用困难的问题,该部分余热若不能合理利用,会使得锅炉效率降低,影响尾部烟道脱硫、脱硝设备正常运行;例如当再压缩循环耦合二次再热布置直接与 $\pi$ 型煤粉炉耦合时,虽然在30MPa, 620°C/620°C/620°C的运行参数下(第一个压力和温度是高压透平入口压力、温度,第二个温度是中压透平入口温度,第三个温度是低压透平入口温度。)循环热效率可达52%左右,但当二次风温为400°C时,锅炉效率可降到87%左右,故如何合理的解决尾部烟气余热利用问题是提高S-CO<sub>2</sub>循环特性的关键。

[0006] 其次,相对于常规水蒸气朗肯循环,由于CO<sub>2</sub>工质在锅炉入口处的温度高,故在相同的主汽温度条件下,工质在锅炉内的温升小,且由于CO<sub>2</sub>与水的物理性质上的差异,在锅炉中CO<sub>2</sub>比热容比水的比热容小,故根据 $Q=cm\Delta t$ 可知,若吸收相同热量,S-CO<sub>2</sub>循环的质量流量较大,对于相同容量的机组,S-CO<sub>2</sub>机组的质量流量要比水机组大6-8倍。质量流量的提高使得锅炉受热面设计、布置困难,例如当水冷壁管内径为23mm、管数为1456根时水冷壁压降可达到几十兆帕,这对于循环来说是不可接受的,故如何合理选择管径、管数以及如何对受热面进行布置同样为提高S-CO<sub>2</sub>循环特性的关键。

[0007] 此外,汽机侧的热力系统优化布置形式总体上可以分为回热、间冷、再热三类,燃煤火力发电热源与核能及太阳能区别较大,热力系统布置形式对热力循环及锅炉受热面布置产生直接影响,如上述提到的再热会使得CO<sub>2</sub>工质在锅炉入口处的温度提高,使得余热回收困难,但再热能够提高循环效率。而间冷会使压缩机耗功减小,同时会适当降低工质在锅炉入口处的温度,在计算工况下能够降低5°C左右,但间冷会对低温回热器的运行特性产生

影响。回热能够降低冷源损失,提高循环效率,尤其是分流再压缩回热布置,且使低温回热器冷热侧工质热容量接近,提高回热效果,但回热同样会提高CO<sub>2</sub>工质在锅炉入口处的温度。故如何合理、高效的构建热力系统同样为提高S-CO<sub>2</sub>循环特性的关键。

[0008] 因此,要实现超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环在燃煤火力发电领域的应用需要综合考虑机炉一体化的设计思路,最终实现合理、高效的超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤火力发电系统。

## 发明内容

[0009] 根据背景技术中所提到的问题,本发明提供了一种超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤发电尾部高温烟气余热利用系统,其特征在于,包括:第一冷却壁、第二冷却壁、高温回热器、低温回热器、辅助压缩机、冷却器、辅助压缩机分流阀门、烟气冷却器分流阀门、冷却壁分流阀门、再热布置系统、烟气余热回收系统和压缩系统;其中再热布置系统先将输入的工质送入锅炉内吸热,随后做功,且再热布置系统提高工质在锅炉入口处的温度,使得锅炉尾部烟气余热量提高;烟气余热回收系统进一步吸收空预器无法吸收的尾部烟气剩余热量,降低锅炉排烟热损失;压缩系统使得工质在锅炉入口处的温度和质量流量进一步降低;

[0010] 所述再热布置系统工质管道的出口、高温回热器低压侧的入口、高温回热器低压侧的出口、低温回热器低压侧的入口顺序依次相连,低温回热器低压侧的出口分别与压缩系统的入口和辅助压缩机分流阀门相连,辅助压缩机分流阀门和辅助压缩机的入口相连,压缩系统的出口分别与低温回热器高压侧的入口和烟气冷却器分流阀门相连,烟气冷却器分流阀门与烟气余热回收系统工质管道的入口相连;辅助压缩机的出口、低温回热器高压侧的出口和烟气余热回收系统工质管道的出口全都连接至高温回热器高压侧的入口,高温回热器高压侧的出口分别与冷却壁分流阀门和省煤器工质管道的入口相连,省煤器工质管道的出口与第二冷却壁工质管道的入口相连,冷却壁分流阀门与第一冷却壁工质管道的入口相连。

[0011] 优选地,所述辅助压缩机分流阀门分流量为30.98-35.82%;所述烟气冷却器分流阀门和所述第一冷却壁分流阀门的分流量全为50%。

[0012] 所述烟气余热回收系统由第二空气预热器、烟气冷却器、第一空气预热器、送风机和一次风机组成,其中烟气冷却器工质管道的入口为烟气余热回收系统工质管道的入口,烟气冷却器的出口为烟气余热回收系统工质管道的出口;

[0013] 所述第一空气预热器为三分仓式空气预热器,包括:一次风空气通道、二次风空气通道和烟气通道;所述第二空气预热器为二分仓式空气预热器,包括二次风空气通道和烟气通道;第一空气预热器的一次风空气通道入口与一次风机相连,第一空气预热器的一次风空气管道出口与制粉系统相连,第一空气预热器的二次风空气管道入口与送风机相连,第一空气预热器的二次风空气通道出口和第二空气预热器的二次风空气通道入口相连,第二空气预热器的二次风空气管道出口与燃烧器相连;烟气经省煤器烟气通道的出口流出后与第二空气预热器内的空气换热,随后与烟气冷却器内的超临界二氧化碳工质管道换热,最后与第一空气预热器内的空气换热。

[0014] 所述省煤器、第二空气预热器、烟气冷却器和第一空气预热器顺序安装于烟气的流经区域内,烟气在流过流经区域内的各个装置的过程中将烟气中的热量通过各个装置的受热面传递给各个装置工质管道内的工质。

[0015] 所述省煤器最接近炉膛,第一空气预热器最接近烟道出口。

[0016] 所述一次风机所提供的一次风量占总风量的19%,所述送风机所提供的二次风量占总风量的81%。

[0017] 本发明的有益效果为:

[0018] 该发明针对基于超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环的燃煤火力发电系统,提出了S-CO<sub>2</sub>锅炉CO<sub>2</sub>工质分流减阻的方案,分流的含义是工质在进入锅炉前分为两股流体,每股流体单独进入锅炉各受热面吸热,本文设计了再热锅炉受热面布置方案,通过建立冷却壁压降模型,得到了该方法的特性,该方法能够降低烟气流经热力系统后的温度,且能够降低锅炉受热面摩擦压降。本文为解决尾部烟气余热吸收问题,本文探究了通过从热力系统分流进入锅炉烟气冷却器吸热、通过提高二次风温吸热的余热吸收方法;本发明确定了从主压缩出口引出流体汇入低温回热器高压侧出口的分流方案,该方案能够实现尾部烟气余热的有效吸收,且对热力系统各类特性影响较小、发电效率较高。该发明构建了合理、高效的超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤火力发电系统及其尾部烟气余热利用系统。

## 附图说明

[0019] 图1为本发明基于超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环的燃煤火力发电系统实施例1的流程图;

[0020] 图2为本发明实施例2的流程图;

[0021] 图中:1-第一冷却壁、2-第二冷却壁、3-第三冷却壁、4-第一过热器、5-第二过热器、6-第二再热器、7-第一再热器、8-省煤器、9-第二空气预热器、10-烟气冷却器、11-第一空气预热器、14-第一透平、16-第二透平、17-高温回热器、18-低温回热器、20-辅助压缩机、21-冷却器、22-第一压缩机、23-中间冷却器、24-高压压缩机、19-辅助压缩机分流阀门、25-烟气冷却器分流阀门、26-第一冷却壁分流阀门、15-第一再热器分流阀门、13-送风机、12-一次风机、200-再热布置系统、300-烟气余热回收系统、400-压缩系统。

## 具体实施方式

[0022] 下面结合附图进一步阐述本发明超临界CO<sub>2</sub>布雷顿循环燃煤发电尾部高温烟气余热利用系统的两个实施例;

[0023] 如图1所示的实施例1,包括:第一冷却壁1、第二冷却壁2、第一过热器4、第二过热器5、省煤器8、第一透平14、高温回热器17、低温回热器18、辅助压缩机20、冷却器21、辅助压缩机分流阀门19、烟气冷却器分流阀门25、冷却壁分流阀门26、再热布置系统200、烟气余热回收系统300和压缩系统400;

[0024] 所述第一冷却壁1工质管道的出口与第一过热器4工质管道的入口相连;第二冷却壁2工质管道的出口和第二过热器5工质管道的入口相连;第一过热器4工质管道的出口和第二过热器5工质管道的出口都与第一透平14的工质管道的入口相连,第一透平14的工质管道的出口与再热布置系统200工质管道的入口相连,再热布置系统200工质管道的出口、高温回热器17低压侧的入口、高温回热器17低压侧的出口、低温回热器18低压侧的入口顺序依次相连,低温回热器18低压侧的出口分别与压缩系统400的入口和辅助压缩机分流阀门19相连,辅助压缩机分流阀门19和辅助压缩机20的入口相连,压缩系统400的出口分别与低温回热器18高压侧的入口和烟气冷却器分流阀门25相连,烟气冷却器分流阀门25与烟气

余热回收系统300工质管道的入口相连;辅助压缩机20的出口、低温回热器18高压侧的出口和烟气余热回收系统300工质管道的出口全都连接至高温回热器17高压侧的入口,高温回热器17高压侧的出口分别与冷却壁分流阀门26和省煤器8工质管道的入口相连,省煤器8工质管道的出口与第二冷却壁2工质管道的入口相连,冷却壁分流阀门26与第一冷却壁1工质管道的入口相连;

[0025] 本实施例中再热布置系统200为单级再热布置,包括:第三冷却壁3、第一再热器7、第二再热器6、第二透平16和第一再热器分流阀门15,其中再热布置系统200工质管道的入口分别与第三冷却壁3工质管道的入口和第一再热器分流阀门15相连,第一再热器分流阀门15、第一再热器7工质管道的入口、第一再热器7工质管道的出口、第二再热器6工质管道的入口依次顺序连接,第三冷却壁3工质管道的出口和第二再热器6工质管道的出口汇合与第二透平16的入口相连,第二透平16的出口为再热布置系统200工质管道的出口;

[0026] 辅助压缩机分流阀门19分流量为32.65~35.82%;烟气冷却器分流阀门25和第一冷却壁分流阀门26和第一再热器分流阀门15的分流量全为50%;

[0027] 第一冷却壁1、第二冷却壁2和第三冷却壁3的吸热量占总吸热量的50%,且第一冷却壁1、第二冷却壁2和第三冷却壁3的管内径范围均为20~50mm,且管数778~3112根;第一冷却壁1和第二冷却壁2选用螺旋管圈水冷壁,第三冷却壁3选用垂直管圈水冷壁;

[0028] 本实施例中压缩系统400为双级压缩布置,包括:冷却器21、第一压缩机22、中间冷却器23和第二压缩机24,其中冷却器21的入口为压缩系统400的入口,冷却器21的出口、第一压缩机22、中间冷却器23和第二压缩机24的入口依次首尾相连,第二压缩机24的出口为压缩系统400的出口;此时中间冷却器23能够减小第一压缩机22和第二压缩机24的耗功,降低工质在锅炉入口处的温度,提高循环净功,降低质量流量,减小工质在锅炉内的压降,实现效率的提升。

[0029] 烟气余热回收系统300由第二空气预热器9、烟气冷却器10、第一空气预热器11、送风机13和一次风机12组成,其中烟气冷却器10工质管道的入口为烟气余热回收系统300工质管道的入口,烟气冷却器10的出口为烟气余热回收系统300工质管道的出口;其中第一空气预热器11为三分仓式空气预热器,包括:一次风空气通道、二次风空气通道和烟气通道,第二空气预热器9为二分仓式空气预热器,包括二次风空气通道和烟气通道;第一空气预热器11的一次风空气通道入口与一次风机12相连,第一空气预热器11的一次风空气管道出口与制粉系统相连,第一空气预热器11的二次风空气管道入口与送风机13相连,第一空气预热器11的二次风空气通道出口和第二空气预热器9的二次风空气通道入口相连,第二空气预热器9的二次风空气管道出口与燃烧器相连;烟气经省煤器8 烟气通道的出口流出后与第二空气预热器9内的空气换热,随后与烟气冷却器10内的超临界二氧化碳工质管道换热,最后与第一空气预热器11内的空气换热。

[0030] 本实施例中锅炉内部由第一冷却壁1、第二冷却壁2和第三冷却壁3;第一过热器4、第二过热器5、第二再热器6、第一再热器7、省煤器8、第二空气预热器9、烟气冷却器10和第一空气预热器11顺序安装于烟气的流经区域内,其中第一过热器4最接近炉膛,第一空气预热器11最接近烟道出口;烟气在流过流经区域内的各个装置的过程中将烟气中的热量通过各个装置的受热面传递给各个装置工质管道内的工质。

[0031] 超临界二氧化碳工质在循环系统中的工作流程如下所述:高温回热器高压侧出口

超临界二氧化碳工质在进入锅炉前分流,其中一路经过第一冷却壁分流阀门26进入第一冷却壁1(此时工质的状态为:470.37-485.59℃,27.82-31.42MPa),随后进入第一过热器4,另一路进入省煤器8,随后该路超临界二氧化碳工质经省煤器8进入第二冷却壁2(此时工质的状态为:514.43-530.56℃,27.05-30.98 MPa),之后进入第二过热器5,最后两路超临界二氧化碳工质汇合进入第一透平14做功(此时工质的状态为:590.00-620.00℃,25-30.00MPa)。工质由第一透平14的工质出口排出后进行分流,一路经过第一再热器分流阀门15进入第一再热器7,随后进入第二再热器6,另一路进入第三冷却壁3吸热,最后两路超临界二氧化碳工质汇合进入第二透平16做功(此时工质的状态为:590.00-620.00℃,14.05-15.16MPa)。第二透平16排气进入高温回热器17低压侧将热量传递给高压侧,随后进入低温回热器18低压侧将热量传递给高压侧。超临界二氧化碳工质在低温回热器18低压侧出口分流,一部分超临界二氧化碳工质进入冷却器21的入口(此时工质的状态为:72.44-76.26℃,7.50-7.90MPa),随后向环境排热,另一部分经过辅助压缩机分流阀门19进入辅助压缩机20经压缩后汇入低温回热器18高压侧出口(此时工质的状态为:194.94-212.71℃,27.92-31.52MPa)。进入冷却器21的超临界二氧化碳工质经冷却后(此时工质的状态为:32-35℃,7.50-7.90MPa)进入第一压缩机22,经第一压缩机22压缩后的工质进入中间冷却器23再次向环境排热(此时工质的状态为:32.00-35.00℃,8.60-9.40MPa),随后进入第二压缩机24,经再次压缩后进行分流,其中一部分分流超临界二氧化碳工质进入低温回热器18高压侧入口,另一部分经过烟气冷却器分流阀门25进入烟气冷却器10吸收锅炉尾部烟气余热(此时工质的状态为:60.98-64.98℃,28.02-31.62MPa)。进入低温回热器18 高压侧的超临界二氧化碳工质在回热器中与低压侧高温超临界二氧化碳工质换热,在出口处与辅助压缩机20出口工质以及烟气冷却器10出口工质汇流,共同进入高温回热器17高压侧,进入高温回热器的超临界二氧化碳工质与低压侧高温超临界二氧化碳换热,随后高温回热器高压侧出口超临界二氧化碳工质在进入锅炉前分流。

[0032] 同时锅炉及烟气部分的工作流程如下所述:煤粉在炉膛内燃烧通过第一冷却壁1、第二冷却壁2、第三冷却壁3与冷却壁管内的超临界二氧化碳工质换热,烟气流出炉膛后依次与第一过热器4、第二过热器5、第二再热器6、第一再热器7、省煤器8管内超临界二氧化碳工质换热;烟气流过省煤器8后(此时省煤器出口的烟气温度为:510.36-525.58℃)先与第二空气预热器9内的空气换热(此时第二空气预热器9出口的烟气温度为:383.58-403.22℃),随后再与烟气冷却器10内的超临界二氧化碳工质换热(此时烟气冷却器10出口的烟气温度为:382.98℃),最后与第一空气预热器11内的空气换热;经过大量热交换的低温烟气排出装置外(此时烟气温度为:123℃)。

[0033] 烟气在流经第二空气预热器9和第一空气预热器11时,烟气与空气在空气预热器中换热,此时烟气温度降低,空气温度升高,同时新鲜空气由风机送入第一空气预热器11和第二空气预热器9中,各分为一次风和二次风,一次风在第一空气预热器11中被加热至290~330℃,二次风在第一空预器11中被加热至300~340℃,随后一次风进入制粉系统,二次风进入第二空预器9继续吸收锅炉尾部烟气热量并被加热至500℃左右后进入燃烧器;其中一次风机31所提供的一次风量占总风量的19%,送风机30所提供的二次风量占总风量的81%。

[0034] 如图2所示的实施例2,包括:第一冷却壁1、第二冷却壁2、第一过热器4、第二过热



器5、省煤器8、第一透平14、高温回热器17、低温回热器18、辅助压缩机20、冷却器21、辅助压缩机分流阀门19、烟气冷却器分流阀门25、冷却壁分流阀门26、再热布置系统200、烟气余热回收系统300和压缩系统400；

[0035] 所述第一冷却壁1工质管道的出口与第一过热器4工质管道的入口相连；第二冷却壁2工质管道的出口和第二过热器5工质管道的入口相连；第一过热器4工质管道的出口和第二过热器5工质管道的出口都与第一透平14的工质管道的入口相连，第一透平14的工质管道的出口与再热布置系统200工质管道的入口相连，再热布置系统200工质管道的出口、高温回热器17低压侧的入口、高温回热器17低压侧的出口、低温回热器18低压侧的入口顺序依次相连，低温回热器18低压侧的出口分别与压缩系统400的入口和辅助压缩机分流阀门19相连，辅助压缩机分流阀门19和辅助压缩机20的入口相连，压缩系统400的出口分别与低温回热器18高压侧的入口和烟气冷却器分流阀门25相连，烟气冷却器分流阀门25与烟气余热回收系统300工质管道的入口相连；辅助压缩机20的出口、低温回热器18高压侧的出口和烟气余热回收系统300工质管道的出口全都连接至高温回热器17高压侧的入口，高温回热器17高压侧的出口分别与冷却壁分流阀门26和省煤器8工质管道的入口相连，省煤器8工质管道的出口与第二冷却壁2工质管道的入口相连，冷却壁分流阀门26与第一冷却壁1工质管道的入口相连；

[0036] 本实施例中再热布置系统200为单级再热布置，包括：第三冷却壁3、第一再热器7、第二再热器6、第二透平16和第一再热器分流阀门15，其中再热布置系统200工质管道的入口分别与第三冷却壁3工质管道的入口和第一再热器分流阀门15相连，第一再热器分流阀门15、第一再热器7工质管道的入口、第一再热器7工质管道的出口、第二再热器6工质管道的入口依次顺序连接，第三冷却壁3工质管道的出口和第二再热器6工质管道的出口汇合与第二透平16的入口相连，第二透平16的出口为再热布置系统200工质管道的出口；

[0037] 辅助压缩机分流阀门19分流量为30.98-34.25%；烟气冷却器分流阀门25、第一冷却壁分流阀门26和第一再热器分流阀门15的分流量全为50%；

[0038] 第一冷却壁1、第二冷却壁2和第三冷却壁3的吸热量占总吸热量的50%，且第一冷却壁1、第二冷却壁2和第三冷却壁3的管内径范围均为20~50mm，且管数778~3112根；第一冷却壁1和第二冷却壁2选用螺旋管圈水冷壁，第三冷却壁3选用垂直管圈水冷壁；

[0039] 本实施例中压缩系统400为单级压缩布置，包括：冷却器21和第一压缩机22，其中冷却器21的入口为压缩系统400的入口，冷却器21的出口与第一压缩机22的入口相连，第一压缩机22的出口为压缩系统400的出口。

[0040] 烟气余热回收系统300由第二空气预热器9、烟气冷却器10、第一空气预热器11、送风机13和一次风机12组成，其中烟气冷却器10工质管道的入口为烟气余热回收系统300工质管道的入口，烟气冷却器10的出口为烟气余热回收系统300工质管道的出口；其中第一空气预热器11为三分仓式空气预热器，包括：一次风空气通道、二次风空气通道和烟气通道，第二空气预热器9为二分仓式空气预热器，包括二次风空气通道和烟气通道；第一空气预热器11的一次风空气通道入口与一次风机12相连，第一空气预热器11的一次风空气管道出口与制粉系统相连，第一空气预热器11的二次风空气管道入口与送风机13相连，第一空气预热器11的二次风空气通道出口和第二空气预热器9的二次风空气通道入口相连，第二空气预热器9的二次风空气管道出口与燃烧器相连；烟气经省煤器8烟气通道的出口流出后与

第二空气预热器9内的空气换热,随后与烟气冷却器 10内的超临界二氧化碳工质管道换热,最后与第一空气预热器11内的空气换热。

[0041] 本实施例中锅炉内部由第一冷却壁1、第二冷却壁2和第三冷却壁3围成的炉膛;第一过热器4、第二过热器5、第二再热器6、第一再热器7、省煤器8、第二空气预热器9、烟气冷却器10和第一空气预热器11顺序安装于烟气的流经区域内,其中第一过热器4最接近炉膛,第一空气预热器11最接近烟道出口;烟气在流过流经区域内的各个装置的过程中将烟气中的热量通过各个装置的受热面传递给各个装置工质管道内的工质;

[0042] 超临界二氧化碳工质在循环系统中的工作流程如下所述:高温回热器高压侧出口超临界二氧化碳工质在进入锅炉前分流,其中一路经过第一冷却壁分流阀门 26进入第一冷却壁1(此时工质的状态为:471.59-491.08℃,28.05-31.49MPa),随后进入第一过热器4,另一路进入省煤器8,随后该路超临界二氧化碳工质经省煤器8进入第二冷却壁2(此时工质的状态为:509.70-530.56℃,27.29-31.06 MPa),之后进入第二过热器5,最后两路超临界二氧化碳工质汇合进入第一透平14做功(此时工质的状态为:585.00-620.00℃,25.00-30.00MPa)。工质由第一透平14的工质出口排出后进行分流,一路经过第一再热器分流阀门 15进入第一再热器7,随后进入第二再热器6,另一路进入第三冷却壁3吸热,最后两路超临界二氧化碳工质汇合进入第二透平16做功(此时工质的状态为:585.00-620.00℃,13.60-15.14MPa)。第二透平16排气进入高温回热器17低压侧将热量传递给高压侧,随后进入低温回热器18低压侧将热量传递给高压侧。超临界二氧化碳工质在低温回热器18低压侧出口分流,一部分超临界二氧化碳工质进入冷却器21向环境排热,另一部分经过辅助压缩机分流阀门19进入辅助压缩机20经压缩后汇入低温回热器18高压侧出口。进入冷却器21的超临界二氧化碳工质经冷却后进入第一压缩机22(此时工质的状态为:32-35℃,7.50-7.90 MPa),经压缩后进行分流,其中一部分分流超临界二氧化碳工质进入低温回热器18高压侧入口,另一部分经过烟气冷却器分流阀门25进入烟气冷却器10吸收锅炉尾部烟气余热。进入低温回热器18高压侧的超临界二氧化碳工质在回热器中与低压侧高温超临界二氧化碳工质换热,在出口处与辅助压缩机20出口工质以及烟气冷却器10出口工质汇流,共同进入高温回热器17高压侧,进入高温回热器的超临界二氧化碳工质与低压侧高温超临界二氧化碳换热,随后高温回热器高压侧出口超临界二氧化碳工质在进入锅炉前分流。

[0043] 同时锅炉及烟气部分的工作流程如下所述:煤粉在炉膛内燃烧通过第一冷却壁1、第二冷却壁2、第三冷却壁3与冷却壁管内的超临界二氧化碳工质换热,烟气流出炉膛后依次与第一过热器4、第二过热器5、第二再热器6、第一再热器7、省煤器8管内超临界二氧化碳工质换热;烟气流过省煤器8后(此时省煤器出口的烟气温度为:511.00-531.08℃)先与第二空气预热器9内的空气换热(此时第二空气预热器9出口的烟气温度为:385.17-410.31℃),随后再与烟气冷却器10内的超临界二氧化碳工质换热(此时烟气冷却器10出口的烟气温度为:382.98℃),最后与第一空气预热器11内的空气换热;经过大量热交换的低温烟气排出装置外(此时烟气温度为:123℃)。

[0044] 烟气在流经第二空气预热器9和第一空气预热器11时,烟气与空气在空气预热器中换热,此时烟气温度降低,空气温度升高,同时新鲜空气由风机送入第一空气预热器11和第二空气预热器9中,各分为一次风和二次风,一次风在第一空气预热器11中被加热至290~330℃,二次风在第一空预器11中被加热至300~340℃,随后一次风进入制粉系统,二次

风进入第二空预器9继续吸收锅炉尾部烟气热量并被加热至500℃左右后进入燃烧器；其中一次风机31所提供的一次风量占总风量的19%，送风机30所提供的二次风量占总风量的81%。

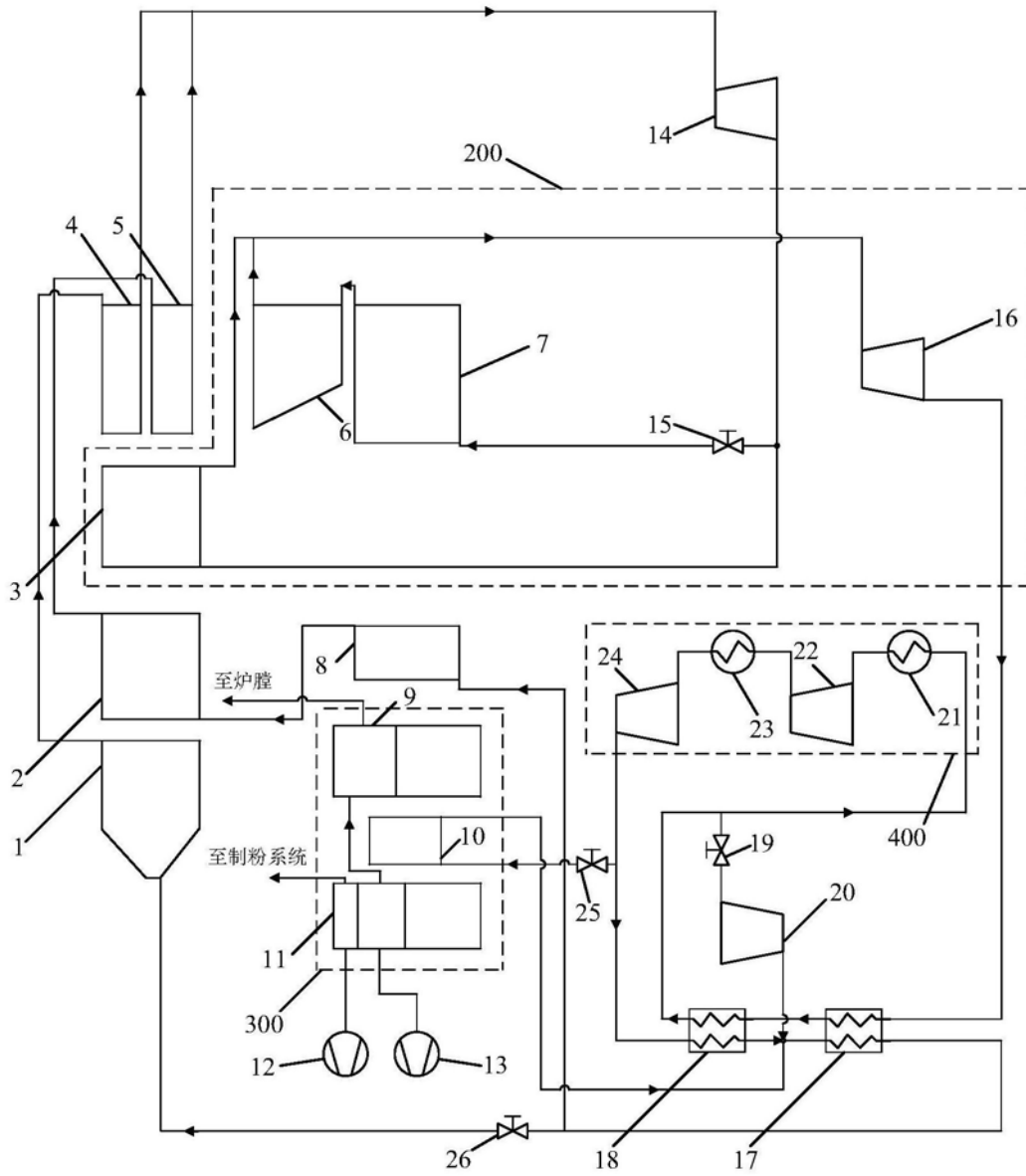


图1

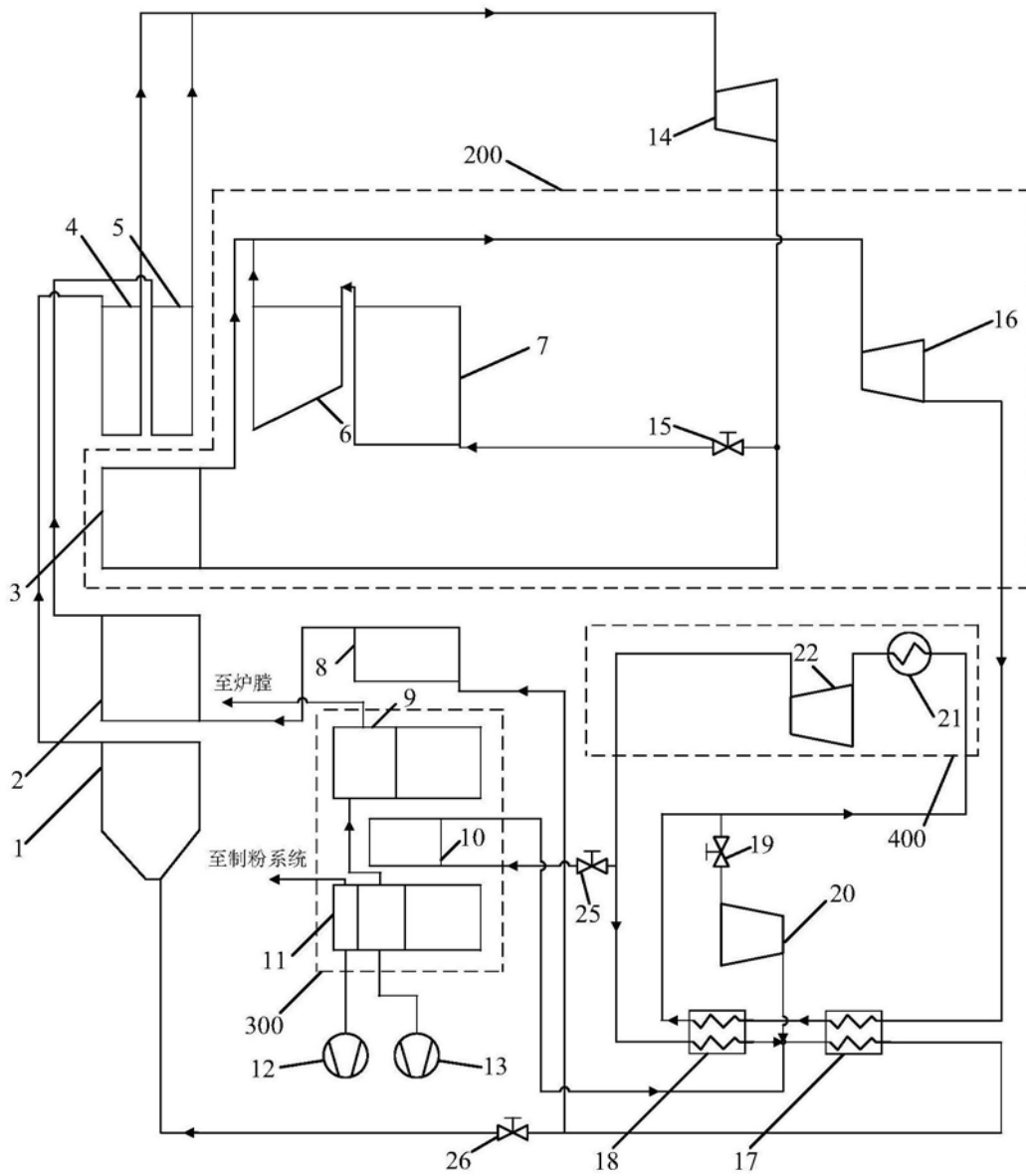


图2