



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104533621 B

(45)授权公告日 2016.08.24

(21)申请号 201510005310.7

(22)申请日 2015.01.06

(73)专利权人 中国科学院工程热物理研究所  
地址 100190 北京市海淀区北四环西路11号

(72)发明人 张士杰 肖云汉

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

代理人 宋焰琴

(51)Int.Cl.

F02C 3/04(2006.01)

F02C 3/30(2006.01)

F02C 6/00(2006.01)

F02C 7/10(2006.01)

F02C 7/14(2006.01)

(56)对比文件

GB 2445486 A,2008.07.09,全文.

CN 201723313 U,2011.01.26,全文.

白云波等.“燃煤气的注蒸汽燃气轮机循环的热力学分析”.《节能技术》.2005,第23卷(第1期),77-80.

纪军等.“注蒸汽燃气轮机稳态全工况性能分析”.《工程热物理学报》.1993,第14卷(第4期),361-364.

和彬彬等.“回注蒸汽微型燃气轮机系统研究”.《中国电机工程学报》.2008,第28卷(第14期),1-5.

审查员 孙龙飞

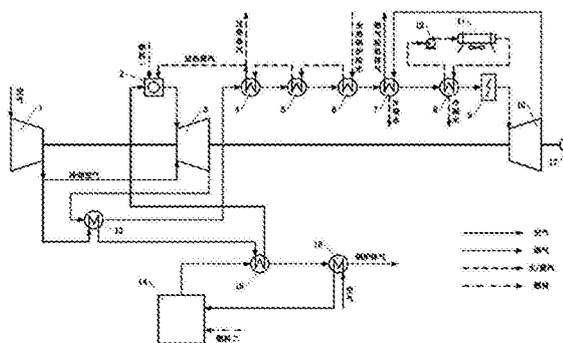
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环

(57)摘要

一种燃用清洁燃料和生物质双燃料的注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,燃气轮机采用回热型注蒸汽-逆燃气轮机联合循环的形式,燃用清洁燃料;生物质燃料在锅炉中燃烧产生的烟气先间接加热进入燃气轮机燃烧室的空气,再预热进入锅炉的空气。其中,燃气轮机循环产生的蒸汽可用于对外供热。本发明利用能的梯级利用原理,通过系统集成将外燃方法和先进注蒸汽正逆布雷登循环有机结合起来,可大幅提高生物质燃料的能源利用效率,生物质与清洁燃料的比例可调,并实现注蒸汽耗水和回收水的自平衡。



1. 一种双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,其中:  
空气由压气机的空气输入端进入;  
压气机的输出端与燃气回热器的空气输入端和透平的冷却空气输入端相连;  
燃烧室的烟气输出端与透平的烟气输入端相连;  
透平的烟气输出端与燃气回热器的烟气输入端相连;  
用于加热空气的生物燃料由锅炉的燃料输入端进入;  
其特征在于:  
压气机的输出端与透平的冷却空气输入端相连;  
燃气回热器的空气输出端与锅炉气-气换热器的空气输入端相连;  
锅炉气-气换热器的空气输出端与燃烧室的空气输入端相连,用于加热空气的清洁燃料由燃烧室的燃料输入端进入;  
燃气回热器的烟气输出端与过热器的烟气输入端相连;  
过热器的烟气输出端与蒸发器的烟气输入端相连;  
蒸发器的烟气输出端与省煤器的烟气输入端相连;  
省煤器的烟气输出端与烟气复热器的热烟气输入端相连;  
冷凝水从烟气复热器中导出;  
烟气复热器的热烟气输出端与烟气冷却器的烟气输入端相连,冷凝水从烟气冷却器中导出;  
烟气冷却器的烟气输出端与排气压缩机的烟气输入端相连;  
排气压缩机的烟气输出端与烟气复热器的冷烟气输入端相连,经加热的冷烟气从烟气复热器的冷烟气排出端排出排空;  
余热锅炉给水由省煤器的水输入端进入,余热锅炉由依次相连的过热器、蒸发器、省煤器组成;  
省煤器的水输出端与蒸发器的水输入端相连;  
蒸发器的饱和蒸汽输出端入过热器的饱和蒸汽输出端相连;  
过热器的过热蒸汽输出端与燃烧室的过热蒸汽输入端相连;  
锅炉的烟气输出端与锅炉气-气换热器的烟气输入端相连;  
锅炉气-气换热器的烟气输出端与锅炉空气预热器的烟气输入端相连,由锅炉空气预热器的烟气输出端输出的烟气排空;  
锅炉燃烧所需的空气由锅炉空气预热器的空气输入端进入;  
锅炉空气预热器的空气输出端与锅炉的空气输入端相连;  
透平的膨胀功扣除压气机和排气压缩机的压缩功之后的余功推动发电机运转。
2. 根据权利要求1所述的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,其中,透平出口的烟气低于大气压力。
3. 根据权利要求2所述的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,其中,透平出口烟气压力为0.1~0.95bar。
4. 根据权利要求1所述的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,其中,烟气复热器、烟气冷却器均设有冷凝水回收装置,回收的冷凝水经处理后可用作余热锅炉的给水。
5. 根据权利要求1所述的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,其中,烟气冷却器设有

冷却水冷却器,冷却水冷却器的水输入端与烟气冷却器的水输出端连接,冷却水冷却器的水输出端通过水泵与烟气冷却器的水输入端连接。

6.根据权利要求1所述的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,其中,烟气冷却器的烟气输出端与排气压缩机的烟气输入端之间设有水滴过滤器,烟气冷却器的烟气输出端通过水滴过滤器后与排气压缩机的烟气输入端相连。

7.根据权利要求1所述的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,其中,从过热器中产生的过热蒸汽引入燃烧室,用于对外供热。

8.根据权利要求1所述的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,其中,锅炉是指燃料和空气在其中绝热燃烧且其中不布置水冷壁的流化床或循环流化床锅炉,锅炉的炉膛温度为650-850℃。

9.根据权利要求8所述的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,其中,流化床或循环流化床锅炉中添加有脱硫剂。

10.根据权利要求1所述的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,其中,清洁燃料包括天然气、合成气、液化石油气、各类蒸馏油、甲醇、乙醇中的一种或几种。

## 一种双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环

### 技术领域

[0001] 本发明涉及燃气轮机技术领域,特别是一种双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环。

### 背景技术

[0002] 简单循环燃气轮机由压气机、燃烧室和燃气透平(简称透平)组成。压气机连续地从大气中吸入空气并将其压缩。压缩后的空气进入燃烧室,与喷入的燃料混合后燃烧,成为高温燃气,随即流入透平中膨胀做功,推动透平叶轮带着压气机叶轮一起旋转,余功作为燃气轮机的输出机械功并可产生电力。透平进口前的燃气温度称为燃气初温。为充分利用燃气轮机的排气余热,一般在燃气轮机后部设置余热锅炉,用于产生蒸汽并在汽轮机中做功,由此即构成了燃气-蒸汽联合循环。

[0003] 当将锅炉产生的蒸汽回注到燃气轮机的燃烧室,同燃气混合加热、膨胀做功,即构成注蒸汽循环。同联合循环相比,注蒸汽循环的特点和优势亦十分突出:注蒸汽循环的效率稍低,但比功高;由于蒸汽回注抑制了燃烧过程氮氧化物的生成,污染物排放降低;省去了蒸汽轮机及冷凝器等,系统结构简单,造价下降;当将余热锅炉产生的蒸汽对外供热时,即可实现热电联供,且热电调节范围大;启动关停快速,操作简单、易维护;部分负荷性能好、对负荷的快速跟踪能力强;占地面积小。另一方面,由于空气加湿,水(蒸汽)跟随排烟一同被排到大气,而系统需要时时补充新水,需要消耗大量水,要达到回收水与耗水自平衡的投入大,难度高。这在一定程度上阻碍了注蒸汽循环的发展。

[0004] 一般情况下,从透平排出的烟气的压力只稍高于大气压力,其中高出部分仅用于克服后部余热回收装置等部件产生的排气阻力。此时,燃气轮机循环是正向(热机)循环。当将燃气轮机透平排出的烟气的压力故意设置为大气压力以下,之后再跟随一个烟气的等压冷却过程及一个压缩过程时,由上部的燃气轮机正向循环和逆压缩过程即构成了所谓的正逆燃气轮机联合循环。由于烟气再压缩前的等压冷却过程的存在,烟气中的水份凝结,烟气流量下降,烟气从低于大气压再压缩到大气压的耗功远小于烟气在透平中从大气压膨胀到低于大气压的膨胀功;由于存在逆循环,循环的优化压比下降;由于压比下降,燃料的压缩功减少。由于这些因素的存在,同等条件下,可使得整个联合循环效率较单纯的正向循环提高约1~2个百分点,对烟气中蒸汽含量高的循环,如各类注水循环、注蒸汽循环等尤其有效。同时,烟气中凝结的水亦可补充于循环,大大克服需消耗水的循环的天然缺陷。

[0005] 生物质燃料的能源利用一般有燃烧、气化两种方式。气化产生的气体可直接在燃气轮机或内燃机的燃烧室中使用,但目前尚存在气化后的气体净化困难,整个气化发电系统投资大、效率低的问题。比如,对生物质而言,目前已存在建设MW级生物质气化发电项目的的能力,但系统供电效率仅为15%左右,且气化技术对各种类型生物质的适用性不强。在生物质燃料的燃烧利用方式方面,流化床或循环流化床锅炉由于燃料适应性广、燃烧效率高、环保性能突出(得益于相对低温的燃烧、分级送风和炉内脱硫等措施)、调峰能力强、运行经济性高等特点而具有独特的优势。但是,受制于生物质燃料特性、燃烧温度,以及受制于收

集半径等因素的较小系统规模,以循环流化床锅炉为核心的生物质蒸汽发电系统也存在发电效率低下的缺点。目前,最大的生物质循环流化床燃烧发电系统规模约为130t/h,其供电效率不超过32%。

[0006] 将生物质燃烧与高效洁净的燃气轮机结合起来,是生物质利用的一个新途径。其中,研究的重点是生物质外燃式燃气轮机循环,其集成方式一般为:燃气轮机透平排气进入生物质锅炉,在生物质锅炉中生物质和燃气轮机排气燃烧产生的高温烟气进入一个高温气-气换热器,加热燃气轮机循环中从压气机中排出将进入燃烧室的空气,实质是以生物质代替燃气轮机原来的清洁燃料。但是,受限于高温气-气换热器的材料,经加热后的换热器空气出口温度一般不能超900℃,导致在目前的技术水平下,外燃式燃气-蒸汽联合循环的供电效率也不会超过32%。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种可大幅提高生物质燃料的能源利用效率的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,并实现循环中注蒸汽耗水和回收水的自平衡。

[0008] 为实现上述目的,本发明提供的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,包括:

[0009] 空气由压气机的空气输入端进入;

[0010] 压气机的输出端与燃气回热器的空气输入端和透平的冷却空气输入端相连;

[0011] 燃气回热器的空气输出端与锅炉气-气换热器的空气输入端相连;

[0012] 锅炉气-气换热器的空气输出端与燃烧室的空气输入端相连,用于加热空气的清洁燃料由燃烧室的燃料输入端进入;

[0013] 燃烧室的烟气输出端与透平的烟气输入端相连;

[0014] 透平的烟气输出端与燃气回热器的烟气输入端相连;

[0015] 燃气回热器的烟气输出端与过热器的烟气输入端相连;

[0016] 过热器的烟气输出端与蒸发器的烟气输入端相连;

[0017] 蒸发器的烟气输出端与省煤器的烟气输入端相连;

[0018] 省煤器的烟气输出端与烟气复热器的热烟气输入端相连,冷凝水从烟气复热器中导出;

[0019] 烟气复热器的热烟气输出端与烟气冷却器的烟气输入端相连,冷凝水从烟气冷却器中导出;

[0020] 烟气冷却器的烟气输出端与排气压缩机的烟气输入端相连;

[0021] 排气压缩机的烟气输出端与烟气复热器的冷烟气输入端相连,经加热的冷烟气从烟气复热器的冷烟气排出端排出排空;

[0022] 余热锅炉给水由省煤器的水输入端进入;

[0023] 省煤器的水输出端与蒸发器的水输入端相连;

[0024] 蒸发器的饱和蒸汽输出端入过热器的饱和蒸汽输出端相连;

[0025] 过热器的过热蒸汽输出端与燃烧室的过热蒸汽输入端相连;

[0026] 由依次相连的过热器、蒸发器、省煤器组成余热锅炉;

[0027] 用于加热空气的生物质燃料由锅炉的燃料输入端进入;

[0028] 锅炉的烟气输出端与锅炉气-气换热器的烟气输入端相连;

- [0029] 锅炉气-气换热器的烟气输出端与锅炉空气预热器的烟气输入端相连,由锅炉空气预热器的烟气输出端输出的烟气排空;
- [0030] 锅炉燃烧所需的空气由锅炉空气预热器的空气输入端进入;
- [0031] 锅炉空气预热器的空气输出端与锅炉的空气输入端相连;
- [0032] 透平的膨胀功扣除压气机和排气压缩机的压缩功之后的余功推动发电机运转。
- [0033] 其中,透平出口的烟气低于大气压力,为0.1~0.95bar。
- [0034] 其中,烟气复热器、烟气冷却器均设有冷凝水回收装置,回收的冷凝水经处理后可用作余热锅炉的给水。
- [0035] 其中,烟气冷却器设有冷却水冷却器,冷却水冷却器的水输入端与烟气冷却器的水输出端连接,冷却水冷却器的水输出端通过水泵与烟气冷却器的水输入端连接。
- [0036] 其中,烟气冷却器的烟气输出端与排气压缩机的烟气输入端之间设有水滴过滤器,烟气冷却器的烟气输出端通过水滴过滤器后与排气压缩机的烟气输入端相连。
- [0037] 其中,从过热器中产生的过热蒸汽引入燃烧室,用于对外供热。
- [0038] 其中,锅炉是指燃料和空气在其中绝热燃烧且其中不布置水冷壁的流化床或循环流化床锅炉,锅炉的炉膛温度为650-850℃。
- [0039] 其中,流化床或循环流化床锅炉中添加有脱硫剂。
- [0040] 其中,清洁燃料包括天然气、合成气、液化石油气、各类蒸馏油、甲醇、乙醇中的一种或几种。
- [0041] 与现有技术相比,本发明具有如下优点:
- [0042] 1)由于注蒸汽循环、燃气回热、正逆循环耦合等措施的综合采用,燃气轮机联合循环效率大幅提高,排放降低;
- [0043] 2)锅炉气-气加热器的锅炉烟气入口温度最高为850℃,现有技术水平完全可以实现,从而将外燃方法和高效燃气轮机循环有机结合起来,使得生物质的折合发电效率大幅提高;
- [0044] 3)透平出口气体经冷却,大量水凝出,可实现注蒸汽耗水和回收水的自平衡。
- [0045] 4)由于生物质燃料燃烧所需要的空气不依赖于燃气轮机排气,生物质燃料与清洁燃料的比例在系统设计时可在较大的范围内变化,以应对不同的燃料供应条件。计算表明,生物质燃料与清洁燃料两种燃料燃烧释放的热量比约可在1至0.1间变化,且这个比值越低,生物质的折合发电效率就越高。
- [0046] 总之,本发明利用能的梯级利用原理,可大幅提高生物质燃料的能源利用效率,生物质与清洁燃料的比例可调,并保证回收水与耗水的自平衡。

## 附图说明

- [0047] 图1是本发明的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环具体实施例的示意图;
- [0048] 图2是本发明的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环工作流程示意图。
- [0049] 附图中符号说明:
- [0050] 压气机1,燃烧室2,透平3,过热器4,蒸发器5,省煤器6,烟气复热器7,烟气冷却器8,水滴过滤器9,排气压缩机10,水泵11,冷却水冷却器12,燃气回热器13,锅炉14,锅炉气-气加热器15,锅炉空气预热器16,发电机17。

## 具体实施方式

[0051] 请参阅图1,本发明的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,其包括:

[0052] 空气由压气机1的空气输入端进入;压气机1的输出端与燃气回热器13的空气输入端、透平3的冷却空气输入端相连;燃气回热器13的空气输出端与锅炉气-气换热器15的空气输入端相连;锅炉气-气换热器15的空气输出端与燃烧室2的空气输入端相连;用于加热空气的清洁燃料由燃烧室2的燃料输入端进入;燃烧室2的烟气输出端与透平3的烟气输入端相连;透平3的烟气输出端与燃气回热器13的烟气输入端相连;燃气回热器13的烟气输出端与过热器4的烟气输入端相连;过热器4的烟气输出端与蒸发器5的烟气输入端相连;蒸发器5的烟气输出端与省煤器6的烟气输入端相连;省煤器6的烟气输出端与烟气复热器7的热烟气输入端相连,由依次相连的过热器4、蒸发器5和省煤器6组成了余热锅炉;冷凝水从烟气复热器7中导出;烟气复热器7的热烟气输出端与烟气冷却器8的烟气输入端相连;冷凝水从烟气冷却器8中导出;烟气冷却器8的烟气输出端与水滴过滤器9的烟气输入端相连;水滴过滤器9的烟气输出端与排气压缩机10的烟气输入端相连;排气压缩机10的烟气输出端与烟气复热器7的冷烟气输入端相连;经加热的冷烟气从烟气复热器7的冷烟气排出端排出排空;余热锅炉给水由省煤器6的水输入端进入;省煤器6的水输出端与蒸发器5的水输入端相连;蒸发器5的饱和蒸汽输出端入过热器4的饱和蒸汽输出端相连;过热器4的过热蒸汽输出端与燃烧室2的过热蒸汽输入端相连;过热器4输出的过热蒸汽也可用于对外供热;水泵11的水输出端与冷却水冷却器12的水输入端连接;冷却水冷却器12的水输出端与烟气冷却器8的水输入端连接,以便循环使用冷却水;烟气冷却器8的水输出端与水泵11的水输入端相连;用于加热空气的生物燃料由锅炉14的燃料输入端进入;锅炉14的烟气输出端与锅炉气-气换热器15的烟气输入端相连;锅炉气-气换热器15的烟气输出端与锅炉空气预热器16的烟气输入端相连;由锅炉空气预热器16的烟气输出端输出的烟气排空;锅炉燃烧所需的空气由锅炉空气预热器16的空气输入端进入;锅炉空气预热器16的空气输出端与锅炉14的空气输入端相连;燃气轮机透平3的膨胀功扣除压气机1和排气压缩机10的压缩功之后的余功推动发电机17运转。

[0053] 在上述基础上,本发明的烟气复热器、烟气冷却器均设有冷凝水回收装置,以便将烟气中的水蒸汽在烟气复热器、烟气冷却器凝结成的水回收,减少注蒸汽循环水的消耗。

[0054] 本发明还包括水滴过滤器,该水滴过滤器设于烟气冷却器与排气压缩机之间,烟气冷却器的烟气输出端通过水滴过滤器后与排气压缩机的输入端相连,以便过滤进入排气压缩机前烟气中的水滴,减小水滴对排气压缩机的损害。

[0055] 本发明从余热锅炉中产生的过热蒸汽可引入所述燃烧室,也可用于对外供热,实现热电联供。

[0056] 请参阅图2,是本发明的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环的工作流程示意图。

[0057] 注蒸汽正逆燃气轮机联合循环中,压气机用于连续地从大气中吸入空气,并将空气压缩加压,大部分压缩空气进入燃气回热器,小部分压缩空气做为冷却空气进入透平;燃烧室用于将进入的清洁燃料中含有的化学能通过燃烧化学反应,转变成热能,形成高温烟气,高温烟气进入透平;透平将烟气中的能量转化为机械能,机械能一部分用于驱动压气机和排气压缩机,剩余部分再经过发电机变为电能;透平出口的燃气轮机排气引入燃气回热

器,用于加热由压气机出口进入的空气;从燃气回热器中出来的燃气轮机排气进入余热锅炉,将余热锅炉给水加热为过热蒸汽;从余热锅炉中出来的燃气轮机排气进入燃气复热器,将从排气压缩机中引入的燃气轮机排气加热;从燃气复热器出来的燃气轮机排气进入烟气冷却器;从烟气冷却器出来的燃气轮机排气进入所述排气压缩机;从排气压缩机中出来的燃气轮机排气进入烟气复热器,经加热后排空;

[0058] 锅炉系统用于将进入的生物质燃料中含有的化学能通过燃烧化学反应,转变成热能,形成高温锅炉烟气;高温锅炉烟气进入锅炉气-气加热器;锅炉气-气加热器用于将从燃气回热器引入的空气间接加热,加热后的空气引入燃气轮机燃烧室;从锅炉气-气加热器中排出的锅炉烟气进入锅炉空气预热器;锅炉空气预热器用于将锅炉燃烧所需的空气加热,预热后的空气引入锅炉;经锅炉空气预热器输出的锅炉排气排空。

[0059] 经压气机压缩后的空气除部分用于透平冷却,其余经过燃气回热器、锅炉气-气加热器间接加热,以减少清洁燃料消耗;经锅炉气-气加热器输出的空气进入燃烧室形成高温烟气,然后进入透平做功并带动发电机发电中透平出口的燃气轮机烟气低于大气压力,以提高透平出功;经透平输出的烟气将余热锅炉的锅炉给水加热成过热蒸汽,该过热蒸汽通过余热锅炉的蒸汽输出端输出并注入燃烧室,以提高燃气轮机的做功能力,并减少燃烧室燃烧过程中NO<sub>x</sub>的生成;余热锅炉输出的烟气输入烟气复热器加热排气压缩机输出的温度较低的烟气,以便排入大气;经烟气复热器输出的烟气进入烟气冷却器冷却,用于将烟气冷却到近环境温度,以减少随后的排气压缩机压缩功;经烟气冷却器输出的烟气进入排气压缩机,将烟气压缩到在克服烟气复热器的阻力后仍能大于大气压力,以便烟气排放。锅炉中生物质燃烧所产生的高温烟气首先进入锅炉气-气加热器,加热进入燃烧室的空气,以代替燃气轮机原来的清洁燃料,并通过燃气轮机循环高效利用生物质的能量;经锅炉气-气加热器输出的烟气进入锅炉空气预热器,加热进入锅炉的空气,以提高锅炉效率;经锅炉空气预热器输出的锅炉烟气排空。

[0060] 本发明中进入透平的冷却空气的比例视透平前温、透平冷却技术而定,一般约在12%~25%;透平出口的压力低于大气压力;透平出口的燃气轮机排气引入燃气回热器,加热由压气机出口进入的空气,以提高循环效率;从燃气回热器中出来的燃气轮机排气进入余热锅炉,将余热锅炉给水加热为过热蒸汽,过热蒸汽可引入燃烧室用于推动透平做功,也可用于对外供热;从余热锅炉中出来的燃气轮机排气进入燃气复热器,将从排气压缩机中引入的燃气轮机排气重新加热,使排气温度高于一定的环保要求,烟气中的水蒸汽在烟气复热器中凝结,凝结水加以回收;从燃气复热器出来的燃气轮机排气进入烟气冷却器,将烟气冷却到近环境温度,以减少随后的排气压缩机压缩功,烟气中的水蒸汽在烟气冷却器中继续凝结,凝结水加以回收;冷却水送往冷却水冷却器,经冷却的冷却水再送回烟气冷却器,以循环使用冷却水;烟气冷却器输出的燃气轮机排气经过水滴过滤器,除去气体中的水滴;经水滴过滤器输出的燃气轮机排气进入排气压缩机,将燃气轮机排气压缩到足以克服流经其后的烟气复热器产生的阻力后还稍高于大气压,以提供足够的烟囱驱动力,有利于烟气扩散,达到环保要求;从排气压缩机中出来的燃气轮机排气进入烟气复热器,经加热后排空。锅炉系统将进入的生物质燃料中含有的化学能通过燃烧化学反应,转变成热能,形成高温锅炉烟气,高温锅炉烟气进入锅炉气-气加热器;锅炉气-气加热器用于将从燃气回热器引入的空气间接加热,加热后的空气引入燃气轮机燃烧室,实现燃气轮机循环和生物质

燃烧系统的集成;从锅炉气-气加热器中排出的锅炉烟气进入锅炉空气预热器;锅炉空气预热器用于将锅炉燃烧所需的空气加热,减少排烟损失,预热后的空气引入锅炉;经锅炉空气预热器输出的锅炉排气排空。

[0061] 本发明的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环包括以下技术环节:

[0062] 1)空气压缩:空气流经压气机升压,出口温度亦升高,需耗功;

[0063] 2)燃烧:燃料在燃烧室或锅炉中和空气混合发生化学反应,化学能释放,温度升高;

[0064] 3)燃气膨胀做功:高温高压燃气在透平中膨胀做功,降温降压;

[0065] 4)余热回收:透平出口带有余热的燃气通过余热回收装置产生过热蒸汽,蒸汽可注入燃烧室并在随后的透平中膨胀作功,亦可对外供热;

[0066] 5)热交换:高温流体与低温液体之间热量传递,实现热量回收利用之目的;

[0067] 6)烟气冷凝:烟气因换热温度下降,烟气中的水蒸汽被部分冷凝,冷凝过程中释放潜热;

[0068] 7)水滴过滤:经过冷却的空气进入水滴过滤器,除却空气中夹带的水滴,减少水滴对压气机的损害。

[0069] 8)烟气排向大气。

[0070] 本发明的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环的理论依据及原理是:

[0071] 1)回热循环:简单循环中,透平排气温度仍相当高,带走大量热量。而一般情况下压气机出口空气温度比透平排气温度低很多。让透平排气通过回热器先把压气机出口的空气加热,然后空气再进入燃烧室,则在燃气初温不变的情况下可以节省燃烧室内加入的热量,从而提高循环效率。

[0072] 2)注蒸汽循环:将燃气轮机后余热锅炉产生的蒸汽回注到燃气轮机的燃烧室,同燃气混合、膨胀做功的循环。同联合循环相比,注蒸汽循环效率稍低,比功高;污染物排放降低;系统结构简单,造价下降;可实现热电联供,且热电调节范围大;启动关停快速,操作简单、易维护;部分负荷性能好、对负荷的快速跟踪能力强;占地面积小。

[0073] 3)正逆耦合循环:将燃气轮机透平排出的烟气的压力故意设置为大气压力以下,之后再跟随一个烟气的等压冷却过程及一个压缩过程的燃气轮机循环。对此循环,烟气从低于大气压再压缩到大气压的耗功远小于烟气在透平中从大气压膨胀到低于大气压的膨胀功;由于存在逆循环,循环的优化压比下降;由于压比下降,燃料的压缩功减少。同等条件下,正逆耦合循环的效率较单纯的正向循环提高约1~2个百分点,对烟气中蒸汽含量高的循环,如注水循环、注蒸汽循环等尤其有效。同时,凝结的水份可回收利用;

[0074] 4)外燃式燃气轮机循环:生物质、煤等固体燃料在锅炉中燃烧产生的高温烟气间接加热进入燃气轮机燃烧室的空气,则可以完全或部分替代需在燃气轮机燃烧室内加入的清洁燃料,从而实现了对生物质、煤等固体燃料的高效利用。

[0075] 本发明将燃气轮机及其循环以及回热、注蒸汽、正逆循环耦合、外燃等技术有机集成,形成了可大幅提高生物质燃料的能源利用效率的新型循环。此循环的生物质的折合发电效率较一般的生物质气化发电、直接燃烧发电、外燃式燃气轮机发电等技术方案大幅提高。另外,由于生物质燃料燃烧所需要的空气不依赖于燃气轮机排气,生物质燃料与清洁燃料的比例在系统设计时可在较大的范围内变化,以应对不同的燃料供应条件,较一般的生

物质燃烧外燃式燃气轮机循环更为灵活。

[0076] 本发明的双燃料注蒸汽正逆燃气轮机联合循环,计算表明,在ISO条件下,在压气机压比为16、燃烧室出口温度为1260℃、冷却空气量为压气机总流量的18.65%、蒸汽压力为3.92Mpa、透平膨胀到50kPa、回热器和锅炉气-气加热器的换热有效度取为0.9、余热锅炉过热器与进口烟气的接近点温差为60℃、烟气在进入排气压缩机前被冷却到27℃、锅炉空气预热器的换热有效度取为0.8、压缩机等熵绝热效率取为0.88、透平等熵绝热效率取为0.9、锅炉烟气出口温度取为850℃的条件下,在生物质燃料与清洁燃料的燃料能量比为0.7时,整个循环系统的发电效率达44.26%,若假设同等条件下的注蒸汽循环的效率是47.78%,则生物质的折合发电效率达39.21%,若假设常规生物质气化、燃烧发电系统的效率为32%,则生物质燃料的发电效率提高达7.21%。其它条件不变,在生物质燃料与清洁燃料的燃料能量比为0.52、0.35、0.21、0.10时,整个循环系统的发电效率达45.54%、47.53%、48.54%、49.60%,生物质的折合发电效率达44.17%、46.82%、52.12%、68.32%,较常规生物质发电系统的发电效率提高达12.17%、14.81%、20.12%、36.32%。发电效率提高的幅度因燃气轮机、生物质燃烧条件等而异,但本发明的适用性不受燃气轮机型号、容量以及生物质种类等的限制。

[0077] 本发明的实施方式不限于此,按照本发明的上述内容,利用本领域的普通技术知识和惯用手段,在不脱离本发明上述基本技术思想前提下,本发明还可以做出其它多种形式的修改、替换或变更,均落在本发明权利保护范围之内。

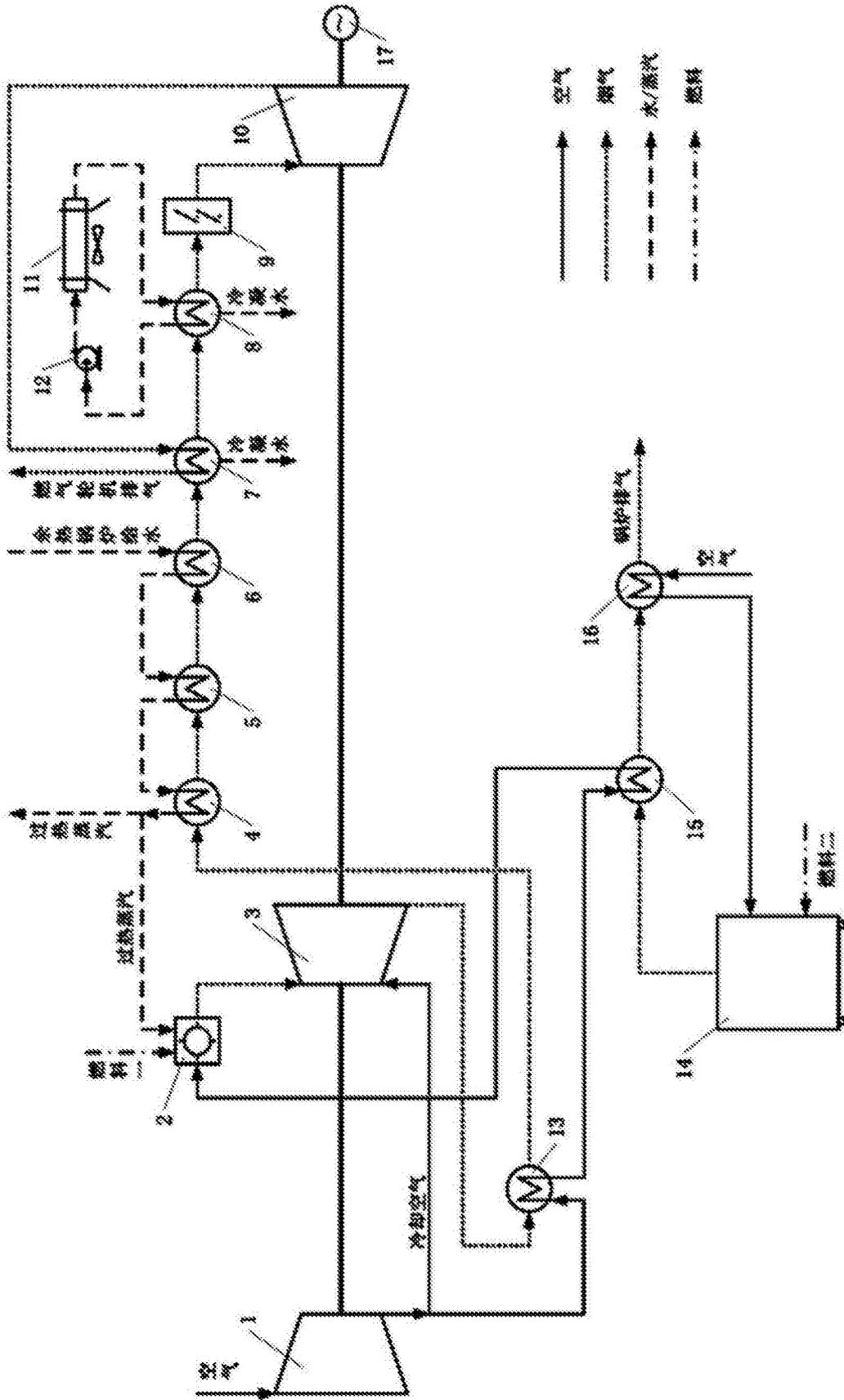


图1

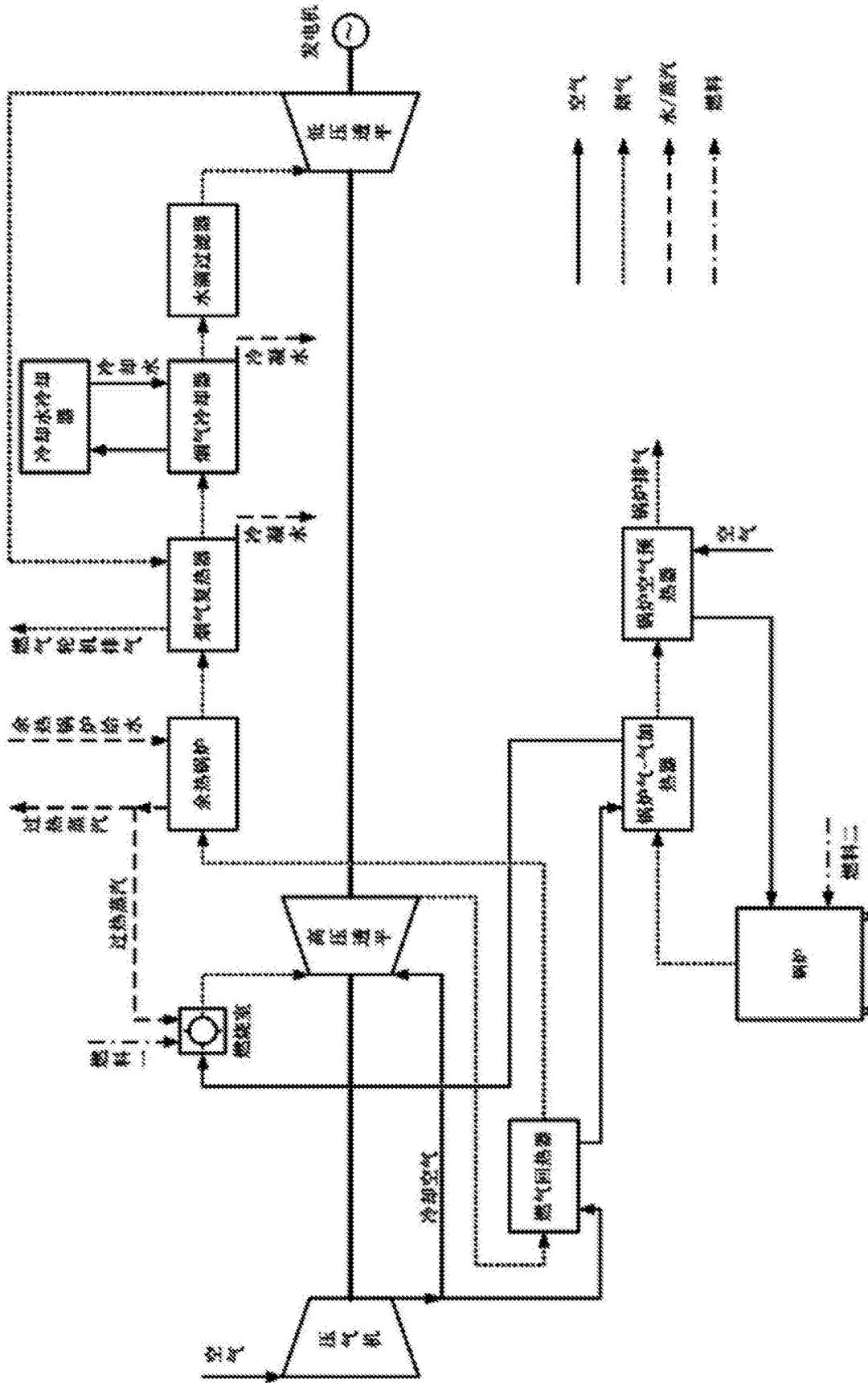


图2