(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 104727868 A
(43)申请公布日 2015.06.24

(21)申请号 201510117480.4

(22)申请日 2015.03.17

(71)申请人 西安热工研究院有限公司
地址 710032 陕西省西安市兴庆路136号

(72)发明人 李红智 姚明宇 陈渝楠 张一帆 张立欣 聂剑平

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200
代理人 徐文权

(51)Int.Cl.
F01K 11/02(2006.01)
F01K 17/02(2006.01)
F22D 1/38(2006.01)

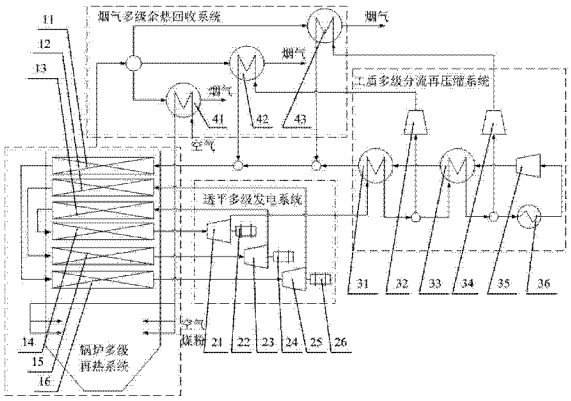
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统

(57)摘要

本发明公开了一种煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统，包括锅炉多级再热系统，透平多级发电系统，工质多级分流再压缩系统以及烟气多级余热回收系统。工质多级分流再压缩系统包括分流布置的主压缩机和多级再压缩机以及各分流支路上的各级回热器和预冷器，利用该系统工质被分为多级分别压缩，并通过多级回热器回收热量，提高各级压缩机的效率，同时使得各级回热器可以有效调节流量比，从而有效避免了传统单级系统的夹点传热恶化效应，提高了传热效率。烟气多级余热回收系统分梯级利用了系统余热资源，同时加热了新工质和助燃空气，提高了能源利用效率。



CN 104727868 A

1. 煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统，其特征在于：包括锅炉多级再热系统、透平多级发电系统、工质多级分流再压缩系统以及烟气多级余热回收系统；工质在工质多级分流再压缩系统内被分流为两部分分级压缩，一部分直接进入锅炉多级再热系统内被分级加热，加热后的工质通过与透平多级发电系统交互配合做功发电，做完功的工质流回工质多级分流再压缩系统；另一部分进入烟气多级余热回收系统与烟气进行换热，换热后的工质与直接进入锅炉多级再热系统的工质汇合后进入锅炉多级再热系统。

2. 根据权利要求 1 所述的煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统，其特征在于：所述工质多级分流再压缩系统包括主压缩机 (35)、超临界工质预冷器 (36)、多级再压缩系统以及回热器；工质由主压缩机 (35) 加压后，流过回热器的一侧，进入锅炉多级再热系统；回热器另一侧的工质入口与透平多级发电系统相连，工质出口分为两路，一路与多级再压缩系统相连，另一路与超临界工质预冷器 (36) 的入口相连，超临界工质预冷器 (36) 的出口与主压缩机 (35) 的入口相连通；多级再压缩系统的工质出口与烟气多级余热回收系统相连。

3. 根据权利要求 2 所述的煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统，其特征在于：所述回热器包括依次级联的低温回热器 (33) 和高温回热器 (31)，多级再压缩系统包括一级再压缩机 (34) 和二级再压缩机 (32)；低温回热器 (33) 一侧的入口与主压缩机相连，高温回热器 (31) 一侧的出口与锅炉多级再热系统相连；高温回热器 (31) 另一侧的入口与透平多级发电系统相连，出口分为两路，一路与二级再压缩机 (32) 相连，另一路与低温回热器 (33) 另一侧的入口相连，低温回热器 (33) 另一侧的出口分为两路，一路与一级再压缩机 (34) 相连，另一路与超临界工质预冷器 (36) 的入口相连；一级再压缩机 (34) 和二级再压缩机 (32) 的出口均与烟气多级余热回收系统相连。

4. 根据权利要求 1 所述的煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统，其特征在于：所述锅炉多级再热系统包括布置在超临界工质锅炉内的多级过热系统，多级再热系统沿烟气流向均匀布置在空气煤粉入口与烟气出口之间。

5. 根据权利要求 1 或 4 所述的煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统，其特征在于：所述超临界工质锅炉内设置过热系统和二级再热系统，过热系统包括低温过热器 (11) 和高温过热器 (16)，二级再热系统分为一次再热系统和二次再热系统，其中一次再热系统包括一次低温再热器 (12) 和一次高温再热器 (15)，二次再热系统包括二次低温再热器 (13) 和二次高温再热器 (14)；从炉膛空气煤粉入口上方到烟气出口之间，烟气依次流过高温过热器 (16)，一次高温再热器 (15)，二次高温再热器 (14)，二次低温再热器 (13)，一次低温再热器 (12) 和低温过热器 (11)；

低温过热器 (11) 设置于高温过热器 (16) 与烟气出口之间；低温过热器 (11) 的入口与工质多级分流在压缩系统的工质出口相连通；高温过热器 (16) 与低温过热器 (11) 之间依次设置有一次高温再热器 (15)、二次高温再热器 (14)、二次低温再热器 (13) 以及一次低温再热器 (12)；高温过热器 (16)、一次高温再热器 (15) 以及二次高温再热器 (14) 的工质出口分别与透平多级发电系统中对应的透平相连；相应透平的工质出口连接到一次低温再热器 (12) 和二次低温再热器 (13) 的工质入口上；低温过热器 (11) 的出口与高温过热器 (16) 的入口相连通，一次低温再热器 (12) 的出口与一次高温再热器 (15) 的入口相连通，二次低温再热器 (13) 的出口与二次高温再热器 (14) 的入口相连通。

6. 根据权利要求 1 或 5 所述的煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统，其特征在于：所述透平多级发电系统包括分轴布置的多级透平以及与其相配套的发电机。

7. 根据权利要求 6 所述的煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统，其特征在于：所述多级透平包括低压透平 (21)、中压透平 (23)、高压透平 (25) 以及分别与其相配套的低压透平发电机 (22)、中压透平发电机 (24) 和高压透平发电机 (26)；低压透平 (21) 的工质出口与工质多级分流在压缩系统的工质入口相连通；中压透平 (23) 和高压透平 (25) 的工质出口分别连接至锅炉多级再热系统的相应工质入口上。

8. 根据权利要求 2 所述的煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统，其特征在于：所述烟气多级余热回收系统包括锅炉尾部分级分流布置的分流烟道，分流烟道内布置多级烟气省煤器和空气预热器 (41)；空气预热器 (41) 的空气出口连接到空气煤粉入口上；多级烟气省煤器的工质入口与多级再压缩系统的工质出口相连，多级烟气省煤器的工质出口与多级回热器的工质出口汇合后，连接到锅炉多级再热系统的工质入口上。

煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统

技术领域

[0001] 本发明属于先进高效发电系统技术领域，具体涉及一种煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统。

背景技术

[0002] 不断提高发电机组效率是电力行业发展的永恒主题和目标。目前，世界上最先进的超超临界蒸汽发电机组的主蒸汽温度600℃，再热蒸汽温度620℃，发电效率从1960年的39％提高到现在的44.5％。如果希望进一步提高机组效率，需要将蒸汽温度提高到700℃。早在上世纪90年代，欧美日等发达国家就已经相继开展了相关研究，然而由于经费削减、固定投资过高、高温部件实炉挂片试验出现裂纹等原因，欧洲的AD700计划、美国A-USC计划和日本的先进超超临界发电技术计划都相继取消或是暂时搁置，并未有实质性进展，目前仅有少数研究机构还在继续进行相关研究。在先进700℃项目重重受阻，前景不明的情况下，发展一种利用新型超临界工质的高效发电循环，替代传统的蒸汽朗肯循环，在不增加高等级合金材料的情况下，进一步提高发电机组效率逐渐成为电力行业未来发展的新方向。

[0003] 新型超临界工质（二氧化碳、氦气和氧化二氮等）具有能量密度大，传热效率高，系统简单等先天优势，可以大幅提高热功转换效率，减小设备体积，具有很高的经济性。应用新型超临界工质的布雷顿循环发电技术已经是公开技术，如美国专利US7685820“超临界二氧化碳聚光太阳能发电系统装置”详述了通过熔盐换热并采用超临界二氧化碳气体作为动力工质的装置构造。与此相类似的有中国专利200710306179.3和200910175484.2“槽式太阳能聚热发电装置”采用包括二氧化碳气体在内的多种气体做传热工质。但总的看，目前使用新型超临界工质布雷顿循环热发电技术还仅仅处于起步阶段，已有的专利多数为针对太阳能等新能源的初步概念设计，系统循环效率普遍不高（多为40％以下）。针对传统化石能源，特别是燃煤发电的实用高效发电系统更是缺乏，还需要大量的原创性工作，从而进一步提高系统循环效率。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是针对燃煤发电的特点，提出一种新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统，替代传统的蒸汽发电系统，在相同参数下，可将系统热功转换效率提高3％-5％。本发明在标准超临界工质布雷顿循环的基础上采取了以下创新性的改进措施，从而大大提高了系统循环效率。

[0005] 为达到上述目的，本发明所采用的技术方案是：

[0006] 煤基新型超临界工质多级分流再热式高效发电系统，包括锅炉多级再热系统、透平多级发电系统、工质多级分流再压缩系统以及烟气多级余热回收系统；工质在工质多级分流再压缩系统内被分流为两部分分级压缩，一部分直接进入锅炉多级再热系统内被分级加热，加热后的工质通过与透平多级发电系统交互配合做功发电，做完功的工质流回工质多级分流再压缩系统；另一部分进入烟气多级余热回收系统与烟气进行换热，换热后的工

质与直接进入锅炉多级再热系统的工质汇合后进入锅炉多级再热系统。

[0007] 所述工质多级分流再压缩系统包括主压缩机、超临界工质预冷器、多级再压缩系统以及回热器；工质由主压缩机加压后，流过回热器的一侧，进入锅炉多级再热系统；回热器另一侧的工质入口与透平多级发电系统相连，工质出口分为两路，一路与多级再压缩系统相连，另一路与超临界工质预冷器的入口相连，超临界工质预冷器的出口与主压缩机的入口相连通；多级再压缩系统的工质出口与烟气多级余热回收系统相连。

[0008] 所述回热器包括依次级联的低温回热器和高温回热器，多级再压缩系统包括一级再压缩机和二级再压缩机；低温回热器一侧的入口与主压缩机相连，高温回热器一侧的出口与锅炉多级再热系统相连；高温回热器另一侧的入口与透平多级发电系统相连，出口分为两路，一路与二级再压缩机相连，另一路与低温回热器另一侧的入口相连，低温回热器另一侧的出口分为两路，一路与一级再压缩机相连，另一路与超临界工质预冷器的入口相连；一级再压缩机和二级再压缩机的出口均与烟气多级余热回收系统相连。

[0009] 所述锅炉多级再热系统包括布置在超临界工质锅炉内的多级过热系统，多级再热系统沿烟气流向均匀布置在空气煤粉入口与烟气出口之间。

[0010] 所述超临界工质锅炉内设置过热系统和二级再热系统，过热系统包括低温过热器和高温过热器，二级再热系统分为一次再热系统和二次再热系统，其中一次再热系统包括一次低温再热器和一次高温再热器，二次再热系统包括二次低温再热器和二次高温再热器；从炉膛空气煤粉入口上方到烟气出口之间，烟气依次流过高温过热器，一次高温再热器，二次高温再热器，二次低温再热器，一次低温再热器和低温过热器；

[0011] 低温过热器设置于高温过热器与烟气出口之间；低温过热器的入口与工质多级分流在压缩系统的工质出口相连通；高温过热器与低温过热器之间依次设置有一次高温再热器、二次高温再热器、二次低温再热器以及一次低温再热器；高温过热器、一次高温再热器以及二次高温再热器的工质出口分别与透平多级发电系统中对应的透平相连；相应透平的工质出口连接到一次低温再热器和二次低温再热器的工质入口上；低温过热器的出口与高温过热器的入口相连通，一次低温再热器的出口与一次高温再热器的入口相连通，二次低温再热器的出口与二次高温再热器的入口相连通。

[0012] 所述透平多级发电系统包括分轴布置的多级透平以及与其相配套的发电机。

[0013] 所述多级透平包括低压透平、中压透平、高压透平以及分别与其相配套的低压透平发电机、中压透平发电机和高压透平发电机；低压透平的工质出口与工质多级分流在压缩系统的工质入口相连通；中压透平和高压透平的工质出口分别连接至锅炉多级再热系统的相应工质入口上。

[0014] 所述烟气多级余热回收系统包括锅炉尾部分级分流布置的分流烟道，分流烟道内布置多级烟气省煤器和空气预热器；空气预热器的空气出口连接到空气煤粉入口上；多级烟气省煤器的工质入口与多级再压缩系统的工质出口相连，多级烟气省煤器的工质出口与多级回热器的工质出口汇合后，连接到锅炉多级再热系统的工质入口上。

[0015] 与现有技术相比，本发明具有以下有益效果：

[0016] 利用工质多级分流再压缩系统工质被分为多级分别压缩，并通过多级回热器回收热量，提高各级压缩机的效率，同时使得各级回热器可以有效调节流量比，从而有效避免了传统单级系统的夹点传热恶化效应，提高了传热效率；透平发电机组多级分轴布置与锅炉

多级再热系统配合提高了透平发电机效率和循环发电效率；烟气多级余热回收系统分梯级利用了系统余热资源，同时加热了新工质和助燃空气，满足新型循环锅炉的燃烧和传热要求，同时提高了能源利用效率。

[0017] 进一步的，本发明在工质压缩环节增加多级分流系统，在提高压缩机效率的同时，还可以有效避免换热器出现夹点传热恶化效应。

[0018] 进一步的，本发明在透平发电环节采取多级透平分轴布置，使得各级透平可以有针对性的优化转速，提高透平发电效率。

[0019] 进一步的，本发明在锅炉加热环节采取多级再热器布置，与多级透平配合，提高每级透平的进口温度，从而提高整体循环效率。

[0020] 进一步的，本发明在余热回收环节针对燃煤发电和闭式布雷顿循环的特点，分级有效利用锅炉余热加热新工质和助燃空气，从而提高能源利用效率。

附图说明

[0021] 图 1 是本发明的整体结构示意图。

[0022] 其中，11 为低温过热器；12 为一次低温再热器；13 为二次低温再热器；14 为二次高温再热器；15 为一次高温再热器；16 为高温过热器；21 为低压透平；22 为低压透平配发电机；23 为中压透平；24 为中压透平配发电机；25 为高压透平；26 为高压透平配发电机；31 为高温回热器；32 为二级再压缩机；33 为低温回热器；34 为一级再压缩机；35 为主压缩机；36 为超临界工质预冷器；41 为空气预热器；42 为二级烟气省煤器；43 为一级烟气省煤器。

具体实施方式

[0023] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步详细说明：

[0024] 参见图 1，本发明包括锅炉多级再热系统，透平多级发电系统，工质多级分流再压缩系统以及烟气多级余热回收系统。各多级系统为两级或两级以上布置，本实施例为两级。锅炉多级再热系统包括超临界工质锅炉，以及锅炉内布置的低温过热器和高温过热器，一次低温再热器和一次高温再热器，二次低温再热器和二次高温再热器；透平多级发电系统包括分轴分级布置的高压透平及配套发电机，中压透平及配套发电机，低压透平及配套发电机；工质多级分流再压缩系统包括分流分级布置的主压缩机，一级再压缩机和二级再压缩机以及各分流支路上的低温回热器，高温回热器和超临界工质预冷器；烟气多级余热回收系统包括锅炉尾部三烟道分级分流布置，分流烟道内分别布置一级烟气省煤器，二级烟气省煤器和空气预热器。

[0025] 本发明工作过程：

[0026] 在工质多级分流再压缩系统中，工质被分为三部分，其中一部分工质经过超临界工质预冷器 36 降温后进入主压缩机 35 升压后，分别进入低温回热器 33 和高温回热器 31 吸收做功后工质的余热达到进入锅炉多级再热系统的进口条件；第二部分工质不经过预冷器主压缩机，而是直接由一级再压缩机 34 升压后，由烟气多级余热回收系统内的一级烟气省煤器 43 加热达到进入锅炉多级再热系统的进口条件；第三部分工质则由二级再压缩机 32 升压后，由烟气多级余热回收系统内的二级烟气省煤器 42 加热达到进入锅炉多级再热系统的进口条件。三部分工质混合后并依次进入锅炉多级再热系统内的低温过热器 11 和

高温过热器 16 吸热后，进入透平多级发电系统内的高压透平 25 膨胀做功并带动配套发电机 26 发电，做功后的工质再返回锅炉多级再热系统内的一次低温再热器 12 和一次高温再热器 15 重新加热到额定温度后，进入透平多级发电系统内的中压透平 23 继续膨胀做功并带动配套发电机 24 发电，之后再返回锅炉多级再热系统内的二次低温再热器 13 和二次高温再热器 14 再加热到额定温度后，进入透平多级发电系统内的低压透平 21 膨胀做功并带动配套发电机 22 发电。锅炉多级再热系统和透平多级分轴布置发电系统相互配合使得各个设备均工作在最佳状态，大大提高了系统效率。

[0027] 发电后的工质进入工质多级分流再压缩系统内的高温回热器 31 将高温余热传递给新工质，之后一部分工质被分流直接进入二级再压缩机 32 升压后重新进入新一轮的循环中。另一部分工质继续进入低温回热器 33 将低温余热传递给新工质，之后又有一部分工质被分流直接进入一级再压缩机 34 升压后重新进入新的循环中。剩余的工质进入预冷器 36 将余热排放给冷却介质后进入主压缩机 35 开始新的循环。工质多级分流再压缩系统使得每个压缩机工作在效率最高的工况，同时有利于各级回热器和预冷器合理调节流量比，避免出现夹点传热恶化效应。

[0028] 烟气多级余热回收系统将锅炉尾部烟气分为三部分，其中两部分分别流经一级烟气省煤器 43 和二级烟气省煤器 42，用来加热分别经一级再压缩机 34 和二级再压缩 32 机送来的新工质以满足锅炉多级再热系统进口参数的要求，另外一部分流经空气预热器 41，用来加热助燃空气从而达到锅炉正常燃烧和炉膛传热的要求。烟气多级余热回收系统分梯级利用了系统余热资源，同时加热了新工质和助燃空气，提高了能源利用效率。

[0029] 以上所述的具体实施方式，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施方式而已，并不用于限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

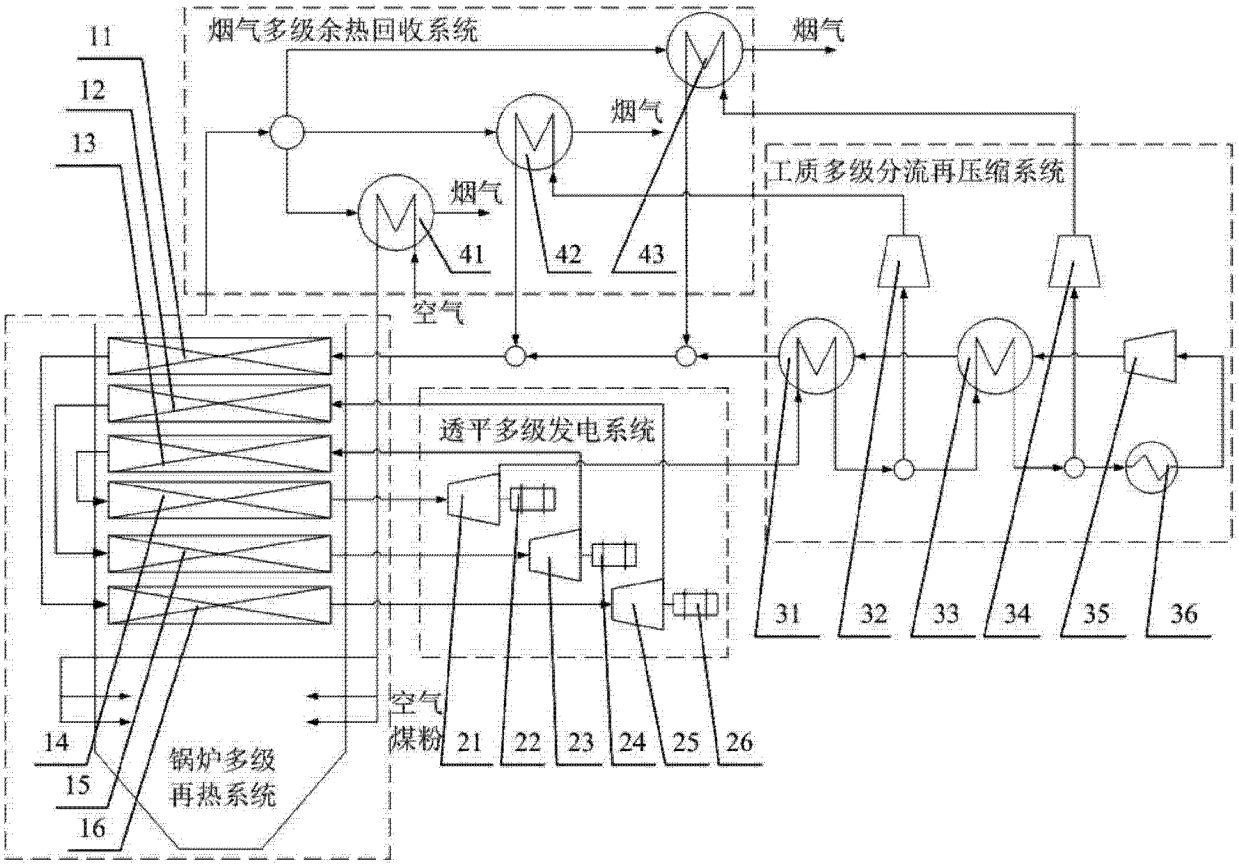

烟气多级余热回收系统
烟气
烟气
烟气
工质多级分流再压缩系统
11
12
13
41
42
43
空气
透平多级发电系统
31
32
33
34
35
36
空气
煤粉
21
22
23
24
25
26
14
15
16
锅炉多级
再热系统

图 1