



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101699207 B

(45) 授权公告日 2011.05.18

(21) 申请号 200910223747.2

F01K 11/02(2006.01)

(22) 申请日 2009.11.19

F01K 27/02(2006.01)

(73) 专利权人 河北理工大学

审查员 贾金岩

地址 063000 河北省唐山市路南区新华西道  
46号

专利权人 唐山钢铁集团有限责任公司

(72) 发明人 王子兵 张玉柱 史东日 赵斌  
李致清 胡长庆 史忠山 赵军  
王宝军 张闯 鞠凯

(74) 专利代理机构 石家庄冀科专利商标事务所  
有限公司 13108

代理人 曹淑敏

(51) Int. Cl.

F27D 17/00(2006.01)

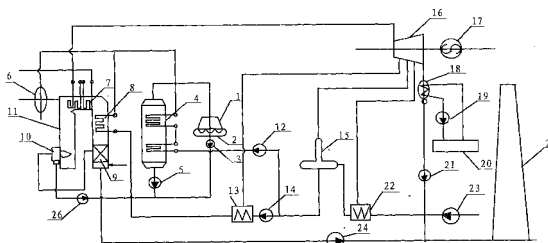
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

提高烧结余热发电系统热力循环质量的方法

(57) 摘要

本发明涉及余热发电技术领域,特别是一种提高烧结余热发电系统热力循环质量的方法。该方法将烧结余热发电热力循环与常规高炉煤气发电热力循环耦合在一起,余热锅炉作为高炉煤气锅炉的外置式省煤器,余热锅炉产生的饱和水与高炉煤气锅炉内置省煤器产生的热水混合后直接送入高炉煤气锅炉的汽包中,混合水在高炉煤气锅炉中完成蒸发、过热,并进入汽轮机做功,余热锅炉的排烟分成两部分,一部分进行废气循环,回入烧结冷却机的鼓风机中,另一部分则进入高炉煤气锅炉中为燃料燃烧助燃。本发明利用火力发电热力循环来拓展余热发电热力循环,解决了现有烧结纯低温余热发电系统稳定性差、热电转换效率低下的问题,大幅度提高余热发电热力循环的循环质量。



1. 一种提高烧结余热发电系统热力循环质量的方法,其特征在于:将烧结余热发电热力循环与常规高炉煤气发电热力循环耦合在一起,余热锅炉作为高炉煤气锅炉的外置式省煤器,余热锅炉产生的饱和水与高炉煤气锅炉内置省煤器产生的热水混合后直接送入高炉煤气锅炉锅筒中,混合水在高炉煤气锅炉中完成蒸发、过热,并进入汽轮机做功,余热锅炉的排烟分成两部分,一部分进行废气循环,回入烧结冷却机的废气循环风机中,另一部分则进入高炉煤气锅炉中为燃料燃烧助燃。

2. 根据权利要求1所述的提高烧结余热发电系统热力循环质量的方法,它由下述工作流程组成:

(1) 烧结矿冷却废气的工作流程:冷空气在烧结冷却机中与烧结矿换热形成的热废气由集烟气罩收集,经烟道进入余热锅炉,在余热锅炉中与工质换热后形成的余热锅炉排烟,经余热锅炉引风机引出后分成两路,一路经高炉煤气锅炉送风机进入高炉煤气锅炉燃烧器中助燃,另一路经废气循环风机进入烧结冷却机进行废气循环;

(2) 循环工质在余热锅炉中的工作流程:余热锅炉给水经余热锅炉给水泵加压后,进入余热锅炉中吸收烧结冷却废气余热,循环工质达到规定参数后进入高炉煤气锅炉锅筒,将循环工质所吸收的烧结余热带入火力发电热力循环中,余热锅炉相当于以烧结余热为热源的高炉煤气锅炉的外置式省煤器;

(3) 高炉煤气锅炉中的烟气流程:高炉煤气在煤气预热器中预热后与余热锅炉排烟分流过来的助燃空气一起经高炉煤气锅炉燃烧器进入高炉煤气锅炉炉膛进行燃烧,高温燃烧产物在炉膛中与蒸发受热面换热降温至 $1050^{\circ}\text{C}$ 后,依次进入高炉煤气锅炉过热器、高炉煤气锅炉内置省煤器及煤气预热器中向循环工质放热,离开煤气预热器的烟气在高炉煤气锅炉引风机的作用下经烟囱排放到大气中;

(4) 循环工质在高炉煤气锅炉中的工作流程:高炉煤气锅炉给水经高炉煤气锅炉给水泵加压后进入高炉煤气锅炉内置省煤器,加热到规定参数后进入高炉煤气锅炉锅筒,由余热锅炉及高炉煤气锅炉内置省煤器输送过来的工质经下降管进入高炉煤气锅炉炉膛中的蒸发受热面,在其中吸收蒸发热后形成汽水混合物,汽水混合物进入高炉煤气锅炉锅筒中进行汽水分离,分离出的饱和蒸汽进入高炉煤气锅炉过热器中过热,达到规定参数的主蒸汽由蒸汽轮机的主进汽口进入蒸汽轮机做功;

(5) 循环工质在热功转换系统中的工作流程:主蒸汽在蒸汽轮机中做功,将工质热能转变为所述蒸汽轮机转子的机械能,再通过发电机将所述蒸汽轮机转子的机械能转变为电能输送给变电系统,做功后的蒸汽形成乏汽离开蒸汽轮机进入凝汽器,在凝汽器中与冷却水换热形成冷凝水,冷却水进入冷却塔中将热量传递给环境后循环利用,冷凝水进入低压加热器加热,经低压加热器加热后的工质水进入除氧器除氧后,一路进入高炉煤气锅炉给水泵加压,经高压加热器加热后,送入高炉煤气锅炉内置省煤器中,另一路经余热锅炉给水泵加压送至余热锅炉中。

## 提高烧结余热发电系统热力循环质量的方法

### 技术领域：

[0001] 本发明涉及一种提高烧结余热发电系统热力循环质量的方法,特别是一种通过将烧结余热发电系统与常规高炉煤气发电系统热力循环耦合来提高烧结余热发电系统热力循环质量的方法。

### 背景技术：

[0002] 目前,公知的烧结余热发电系统均采用纯低温余热发电热力循环方式,纯低温余热发电系统是以烧结废气为单一热源将水加热成蒸汽推动汽轮机做功的热力循环方式。由于烧结余热具有温度低、波动性大的特点,所以,与常规的火力发电系统热力循环相比,烧结纯低温余热发电系统的热力循环的质量要低很多,主要表现在以下几方面：

[0003] 1. 烧结纯低温余热发电热力循环效率较低。

[0004] 公知烧结余热发电系统的热源是烧结矿冷却废气(热空气),烧结纯低温余热发电热力循环采用的是复杂朗肯循环,其循环效率低下的原因有以下三方面：

[0005] (1) 主蒸汽温度较低。

[0006] 烧结矿冷却废气温度较低,平均温度一般只有  $320^{\circ}\text{C}$  -  $360^{\circ}\text{C}$ ,由于余热锅炉的热端温差(入炉废气温度与主蒸汽温度之差)水平影响余热锅炉造价及发电系统稳定性,所以,余热锅炉的热端温差不能过小,在公知的烧结余热发电系统中,余热锅炉的热端温差一般在  $25^{\circ}\text{C}$  -  $30^{\circ}\text{C}$  之间,考虑风道散热,主蒸汽温度一般比烧结矿冷却废气温度低  $30^{\circ}\text{C}$  -  $40^{\circ}\text{C}$ 。

[0007] (2) 主蒸汽压力较低。

[0008] 与火力发电热力循环不同,在纯低温余热发电热力循环中,由于主汽压力升高会导致主汽量下降,所以主汽压力升高并不总是使系统的发电量增加,而是存在一个最佳主汽压力,使系统发电量最大。该最佳主汽压力可以通过热力参数优化求得,大量优化实践表明,烧结纯低温余热发电系统的最佳主汽压力均在次中压范围之内。

[0009] (3) 副蒸汽参数较低。

[0010] 目前,国内烧结纯低温余热发电热力循环的副汽压力一般在  $0.1\text{Mpa}$  -  $0.45\text{Mpa}$  之间。

[0011] 根据工程热力学基本原理,蒸汽参数的高低是决定热力循环效率的主要因素,由于烧结纯低温余热发电系统的主、副汽参数均很低,其热力循环的基本朗肯循环效率只有  $25\%$  -  $30\%$ ,由于蒸汽参数降低可以同时导致蒸汽在汽轮机内做功过程的不可逆损失率加大,烧结纯低温余热发电热力循环的实际循环效率只有  $20\%$  -  $25\%$ ,比火力发电系统的实际循环效率低  $15\%$  左右。

[0012] (2) 烧结纯低温余热发电热力循环对烧结余热的利用率较低

[0013] 在公知的烧结余热发电系统中,进入余热锅炉的废气温度一般为  $310^{\circ}\text{C}$  -  $350^{\circ}\text{C}$  (考虑烟道散热),余热锅炉的排烟温度一般为  $160^{\circ}\text{C}$  左右,由于排烟带走的热量并未进入热力循环,所以热力循环对烧结余热的利用率只有  $45\%$  -  $60\%$ 。

[0014] (3) 烧结纯低温余热发电热力循环稳定性较差

[0015] 由于烧结原料及烧结工艺会随着生产状况发生变化,进入烧结冷却机的烧结矿流量、粒度、温度、烧结矿料层的厚度会有较大幅度的变化,加上环境温度的变化,可以导致烧结矿冷却废气参数发生大幅度波动,根据实际测试结果,烧结矿冷却废气温度波动幅度可达 50% 以上,废气流量的波动幅度也在 30% -40% 之间。众所周知,烧结余热发电系统的设计是按废气的平均参数设计的,废气参数的波动幅度超过一定值时,将导致余热锅炉主蒸汽参数的波动幅度超过汽轮机允许值而影响发电机组安全,从而导致机组非正常停机,副汽参数的波动超过一定值时,将影响汽轮机的正常补汽,严重时导致补汽系统失效。烧结余热发电系统的运行实践表明,烧结纯低温余热发电系统的停机率、尤其是补汽系统的失效率过高是目前烧结纯低温余热发电技术面临的主要问题。

[0016] 根据上面论述,烧结低温余热发电系统的实际循环效率约为 20% -25%,对烧结余热的利用率约为 45-60%,由此可知,烧结余热发电系统的理论综合热电转换效率一般不超过 18%,考虑烧结余热发电系统在实际运行中的停机率、补汽系统失效率较高,所以烧结纯低温余热发电系统实际综合热电转换效率还会降低,因此,公知的烧结余热发电系统的热力循环质量较差,要提高烧结余热发电系统的经济性必须提高热力循环的质量。本发明提供了一种与公知烧结余热发电热力循环完全不同的热力循环工艺,可以大幅度提高烧结余热发电系统的热力循环质量,最终大幅度提高烧结余热动力回收系统的经济性。

[0017] 发明内容:

[0018] 本发明是为解决已有技术之缺陷而提供一种将烧结余热发电热力循环与常规高炉煤气发电热力循环进行科学耦合,可以大幅度提高烧结余热在发电过程中的热力循环质量及烧结余热热电转换效率的方法。

[0019] 本发明解决上述问题采用以下技术方案:

[0020] 一种提高烧结余热发电系统热力循环质量的方法,将烧结余热发电热力循环与常规高炉煤气发电热力循环耦合在一起,余热锅炉作为高炉煤气锅炉的外置式省煤器,余热锅炉产生的饱和水与高炉煤气锅炉内置省煤器产生的热水混合后直接送入高炉煤气锅炉锅筒中,混合水在高炉煤气锅炉中完成蒸发、过热,并进入汽轮机做功,余热锅炉的排烟分成两部分,一部分进行废气循环,回入烧结冷却机的废气循环风机中,另一部分则进入高炉煤气锅炉中为燃料燃烧助燃。

[0021] 本发明与公知烧结余热发电热力循环相比,具有如下技术优势:

[0022] (1) 大幅度提高烧结余热的热电转换效率。

[0023] 在本发明系统中,热力循环耦合后,余热热力循环效率与高炉煤气发电系统的循环效率相同,一般可以达到 33% 左右,由于联合发电系统对烧结余热的利用率为 100%,考虑余热系统散热损失 3% 后,在发明系统中,烧结余热的热电转换效率可达 32%,比公知烧结余热发电系统热电转换效率提高 14% 左右。该提高率尚未考虑发明系统稳定性提高导致的热电转换效率的提高。

[0024] (2) 大幅度提高烧结余热发电循环的稳定性。

[0025] 在本发明中,由于将烧结余热发电热力循环与常规高炉煤气发电热力循环进行了科学耦合,加热循环工质的热源包括烧结余热及高炉煤气燃烧放出的热量两部分,所以当烧结余热参数发生变化时,可以通过调节高炉煤气参数来维持热循环工质所需要的总热

量,从而大幅度提高了余热发电系统的稳定性。另外,由于本发明系统采用的是单压余热锅炉,所以副汽系统失效的情况不再存在。

[0026] (3) 可以节省巨额一次性投资。

[0027] 在本发明系统中,将纯低温余热发电系统与常规自备发电系统耦合成为联合式发电系统,与原来分置式发电系统相比,蒸汽轮机、发电机、除氧器、各种泵类、汽水管网、水处理设备、配电系统及相应的控制系统等设备可供用一套。所以,本发明系统可节约大量的一次性投资费用。

[0028] (4) 可以大幅度降低发电系统的运行费用。

[0029] 本发明系统与分置式发电系统相比,由于将双重设置的凝汽系统、冷却系统、水化学系统、补水系统、除氧系统等合并,厂自用电率会大幅度降低,且维护、检修费用降低。同时,两套发电系统耦合合并为一套系统,生产、管理岗位设置可以适当合并,管理费用大幅度降低。

[0030] 众所周知,在联合钢铁企业中,利用高炉煤气发电的自备电厂与烧结发电系统是互相独立的,这种二次能源分散利用的方式存在很大的不合理性,将高炉煤气发电的自备电厂与烧结发电系统进行科学耦合合并,通过热力循环拓展的方式来提高低温余热发电的热力循环效率的方法,势必成为世界节能减排技术的典范。

[0031] 附图说明:

[0032] 图 1 为本发明的工艺流程图。

[0033] 图中:1 为烧结冷却机;2 为集烟气罩;3 为废气循环风机;4 为余热锅炉;5 为余热锅炉引风机;6 为高炉煤气锅炉锅筒;7 为高炉煤气锅炉过热器;8 为高炉煤气锅炉内置省煤器;9 为煤气预热器;10 为高炉煤气锅炉燃烧器;11 为高炉煤气锅炉;12 为余热锅炉给水泵;13 为高压加热器;14 为高炉煤气锅炉给水泵;所述 15 为锅炉给水除氧器;16 为蒸汽轮机;17 为发电机;18 为乏汽凝汽器;19 为冷却水循环泵;20 为冷却水冷却塔;21 为凝结水泵;22 为低压加热器;23 为补水泵;24 为高炉煤气锅炉引风机;25 为高炉煤气锅炉的烟囱;26 为高炉煤气锅炉送风机。

[0034] 具体实施方式:

[0035] 下面结合附图给出实施例详述本发明。

[0036] 一种提高烧结合余热发电系统热力循环质量的方法,它由下述五个分支工作流程组成:

[0037] (1) 烧结矿冷却废气的工作流程:冷空气在烧结冷却机 1 中与烧结矿换热形成热废气,热废气由集烟气罩 2 收集经烟道进入余热锅炉 4,热空气在余热锅炉 4 中与工质换热后,形成余热锅炉排烟,余热锅炉排烟经余热锅炉引风机 5 引出后分成两路,一路经高炉煤气锅炉送风机 26 进入高炉煤气锅炉燃烧器 10 中助燃,另一路经废气循环风机 3 进入烧结冷却机 1 进行废气循环。

[0038] (2) 循环工质在余热锅炉中的工作流程:余热锅炉给水经余热锅炉给水泵 12 加压后,进入余热锅炉 4 中吸收烧结冷却废气余热,循环工质达到规定参数后进入高炉煤气锅炉锅筒 6,从而将循环工质所吸收的烧结合余热带入火力发电热力循环中。根据循环工质在余热锅炉中的工作流程,余热锅炉实际效果相当于以烧结合余热为热源的高炉煤气锅炉的外置式省煤器。

[0039] (3) 高炉煤气锅炉中的烟气流程 :高炉煤气在煤气预热器 9 中预热后与余热锅炉 4 的排烟分流过来的助燃空气一起经所述高炉 煤气锅炉燃烧器 10 进入高炉煤气锅炉 11 的炉膛进行燃烧,高温燃烧产物在炉膛中与蒸发受热面换热降温至 1050℃后,依次进入高炉煤气锅炉过热器 7、高炉煤气锅炉内置省煤器 8 及煤气预热器 9 中向循环工质放热,离开煤气预热器 9 的烟气形成排烟,排烟在高炉煤气锅炉引风机 24 的作用下经烟囱 25 排放到大气中。

[0040] (4) 循环工质在高炉煤气锅炉中的工作流程 :高炉煤气锅炉给水经高炉煤气锅炉给水泵 14 加压后进入高炉煤气锅炉内置省煤器 8,在高炉煤气锅炉内置省煤器 8 中加热到规定参数后进入高炉煤气锅炉锅筒 6,由余热锅炉 4 及高炉煤气锅炉内置省煤器 8 输送过来的工质经下降管进入高炉煤气锅炉 11 炉膛中的蒸发受热面,在其中吸收蒸发热后形成汽水混合物,汽水混合物进入高炉煤气锅炉锅筒 6 中进行汽水分离,高炉煤气锅炉锅筒中分离出的饱和蒸汽进入高炉煤气锅炉过热器 7 中过热,达到规定参数的主蒸汽由蒸汽轮机 16 的主进汽口进入蒸汽轮机做功。

[0041] (5) 循环工质在热功转换系统中的工作流程 :主蒸汽在所述蒸汽轮机 16 中做功,将工质热能转变为蒸汽轮机 16 转子的机械能,再通过发电机 17 将蒸汽轮机 16 转子的机械能转变为电能输送给变电系统。做功后的蒸汽形成乏汽离开蒸汽轮机 16 进入凝汽器 18,在凝汽器 18 中与冷却水换热形成冷凝水,冷却水进入冷却塔 20 中将热量传递给环境后循环利用。冷凝水进入低压加热器 22 加热,经低压加热器加热后的工质水进入除氧器 15 除氧后一路进入高炉煤气锅炉给水泵 14,加压后经高压加热器 13 加热后,送入高炉煤气锅炉内置省煤器 8 中 ;另一路经余热锅炉给水泵 12 加压送至余热锅炉 4 中。

[0042] 综上所述,烧结余热发电热力循环与常规高炉煤气发电系统的热力循环的科学耦合,利用火力发电热力循环来拓展余热发电热力循环,从而大幅度提高余热发电热力循环的循环质量。

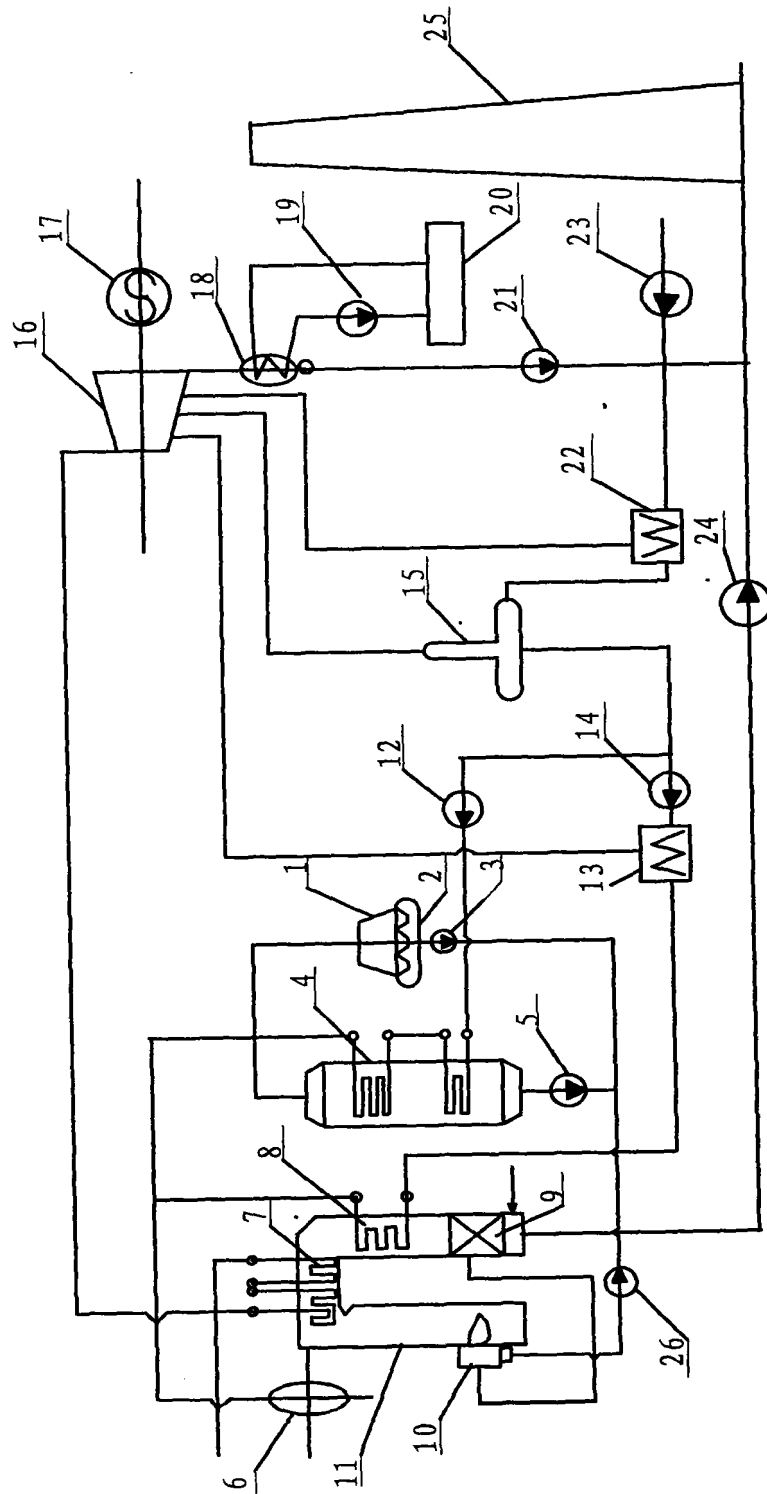


图 1