



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112923771 B

(45) 授权公告日 2022. 08. 30

(21) 申请号 202110363266.2

F23J 15/02 (2006.01)

(22) 申请日 2021.04.02

F01K 25/14 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 段晓宁

申请公布号 CN 112923771 A

(43) 申请公布日 2021.06.08

(73) 专利权人 山东大学

地址 250100 山东省济南市山大南路27号

(72) 发明人 崔琳 董勇 刘雷 王晓哲

(74) 专利代理机构 济南智圆行方专利代理事务  
所(普通合伙企业) 37231

专利代理师 刘景琛

(51) Int. Cl.

F28D 21/00 (2006.01)

F25B 30/00 (2006.01)

F23J 15/06 (2006.01)

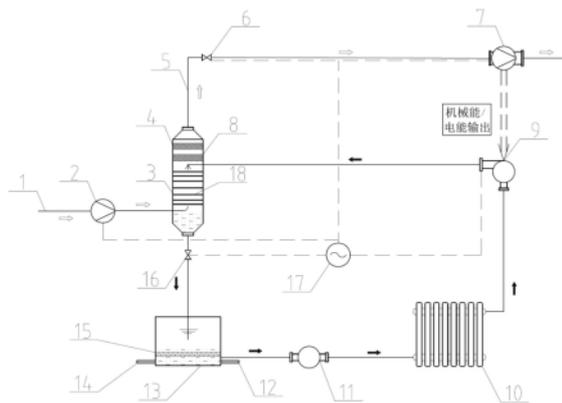
权利要求书1页 说明书10页 附图1页

(54) 发明名称

一种根据排烟温度控制喷淋的湿烟气源热泵系统

(57) 摘要

本发明提供了一种根据排烟温度控制喷淋的湿烟气源热泵系统,一种湿烟气源热泵系统,所述系统包括烟气入口、换热器、烟气压力调节装置、压力控制阀、控制器、涡轮、循环水箱和用户端热输出装置,循环水泵I设置在用户端热输出装置与换热器之间的管路上,换热器上部烟气出口设置温度和/或压力传感器,用于检测排出的烟气的温度和/或压力,循环水泵I、温度传感器与控制器进行数据连接,所述控制器根据检测的温度和/或压力自动调节循环水泵I的功率,从而保证进入换热器中的烟气温度和压力满足供热要求。本发明通过上述的根据换热器出口烟气温度压力控制循环水泵I的大小,可以实现保证换热器热水出口温度及流量满足供热要求,进而改变进入涡轮中烟气参数,同时满足系统内设备电能的使用。



1. 一种根据排烟温度控制喷淋的湿烟气源热泵系统,所述系统包括烟气入口、换热器、烟气压力调节装置、压力控制阀、控制器、涡轮、循环水箱和用户端热输出装置,循环水泵I设置在用户端热输出装置与换热器之间的管路上,所述烟气入口连接烟气压力调节装置,烟气压力调节装置连接换热器,换热器上端烟气出口连接涡轮,烟气出口和涡轮之间的管路上设置第一压力控制阀,所述换热器下端的热水出口连接循环水箱,热水出口和循环水箱之间的管路上设置第二压力控制阀,所述循环水箱连接用户端热输出装置,用户端热输出装置连接换热器,所述涡轮输出电能或机械能,可向循环水泵输送能量;涡轮与循环水泵I连接,用于向循环水泵I输送电能或机械能,涡轮与控制器数据连接,所述控制器控制涡轮向循环水泵I输送能量的大小来控制循环水泵I的功率;换热器上部烟气出口设置温度和/或压力传感器,用于检测排出的烟气的温度和/或压力,循环水泵I、温度传感器与控制器进行数据连接,所述控制器根据检测的温度和/或压力自动调节循环水泵I的功率,从而保证换热器热水出口温度及流量满足供热要求,进而改变进入涡轮中烟气参数,同时满足系统内设备电能的使用。

2. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,当检测的烟气温度低于设定温度和/或压力下限时候,控制器控制降低循环水泵I功率,从而减少进入换热器的冷源流量,提高换热器输出的烟气温度,同时控制器控制压力调节阀提高阈值,从而提高换热器内烟气的温度和压力。

3. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,当检测的烟气温度高于设定温度和/或压力上限时候,控制器控制增加循环水泵I功率,从而增加进入换热器的冷源流量,降低换热器输出的烟气温度,同时控制器控制压力调节阀降低阈值,从而降低换热器内烟气的温度和压力。

4. 一种如权利要求1所述系统的集水及余热回收、污染物脱除方法,其特征在于,湿烟气经烟气管道进入烟气压力调节装置,变成高温高压的烟气,随后通入换热器中,高温高压烟气与循环水进行直接接触式换热,其中烟气降温释放显热,烟气中水蒸汽达到饱和状态后进一步释放汽化潜热,实现对于烟气汽化潜热的回收;循环水在换热器中与烟气进行接触式换热,升温后的循环水回流至循环水箱,经过滤、加药反应工艺后,在循环水泵进行增压后泵送至用户端热输出装置释放热量,降温的循环水经过循环水泵增压后,进入换热器中喷淋完成循环;降温后的饱和湿烟气经过除雾器、除沫器,除去粒径较大的雾滴,随后进入涡轮,依靠高压气体的膨胀力推动涡轮叶轮旋转,带动发电机发电或输出机械能同轴带动循环水泵电机做功,最终达到常压状态排放。

## 一种根据排烟温度控制喷淋的湿烟气源热泵系统

### 技术领域

[0001] 本发明属换热、余热利用、环保技术领域,涉及到一种集水及余热回收、污染物脱除的新型湿烟气源热泵。

### 背景技术

[0002] 锅炉、窑炉、高炉、燃气炉等均需设置烟气尾气处理装置,其中脱硫主要采用石灰石-石膏湿法脱硫技术,脱硫浆液循环喷淋至脱硫吸收塔内,与 $\text{SO}_2$ 进行气液接触反应。喷淋过程中,浆液中水分被烟气加热蒸发,吸收塔出口烟气将达到饱和状态对应的露点温度,一般约为 $50^\circ\text{C}$ ,其中水蒸汽的质量分数约为10-15%。以600MW燃煤锅炉为例,排放湿烟气中水蒸气含量约为230t/h,将造成大量水资源的排放流失。同时,水蒸汽雾滴在排放时形成凝结核心,在一定气象条件下会促进雾霾的形成。另一方面, $50^\circ\text{C}$ 烟气作为一种废热,虽然其能量品位低、密度小,但总量比较大,直接外排环境将造成热量的损失。因此对湿烟气水分及余热回收利用,具有节约能源、保护环境的双重意义。

[0003] 近些年来,对于烟气余热利用及其中水蒸汽的回收工艺已有大量研究和成果,主要可分为以下三类:一是间接换热工艺,如专利:“一种增压调控式烟气通道余热回收系统”(CN201611073039.1)、“一种烟气余热回收湿法集成净化系统及方法”(CN201710001638.0)、“一种烟气湿法脱硫脱白装置”(CN201810302033.X)、“一种基于增压机余热回收的空压机脱湿增产装置”(CN201920432998.0)中采用烟气与换热介质间接接触的传统换热形式,该方式技术较为成熟,应用领域较广,但缺点是由于采用间接式换热,受烟气与吸热介质间冷端温差的影响,换热量较小,吸热介质出口温度较低,一般低于换热器烟气出口温度约 $5^\circ\text{C}$ ,出口温度较低导致其后续热利用场景受限,余热利用效果较差。二是直接换热工艺,如专利:“一种喷水直冷式烟气冷凝系统及方法”(CN201810938098.3)、“一种消白净化一体化装置”(CN201910832971.5)、“一种烟气净化装置烟气净化的方法”(CN201911196365.5)中采用烟气与换热介质直接接触换热,该形式可实现有效地降低换热温差,且接触式反应器成本较低,其缺点是出口湿烟气仍为饱和状态,仅能利用烟气的显热部分能量,无法实现对水蒸汽及其潜热的提取及利用,烟气中的杂质成分将会对回收介质造成污染。三是热泵工艺,如专利:“烟气旋流喷射脱白耦合吸收式热泵余热回收装置及方法”(CN202010152079.5)、“一种基于吸收式循环的烟气余热深度回收系统”(CN201720721693.2)、“一种升温型吸收-压缩耦合热泵余热回收系统”(CN202010041064.1)中,采用热泵形式以烟气热源作为低温热源,以电能或过热蒸汽作为高温热源,通过热泵进行提质升温,实现对余热的利用。但热泵系统设备组成较为复杂,初期投资成本较高,其中闭式热泵系统属于间接换热形式,仅能将湿烟气降至对应温度的饱和状态,无法实现对水蒸汽进一步冷凝及提取;开式热泵系统吸收溶液与烟气直接接触反应,烟气中的污染物组分、杂质颗粒将进入吸收溶液造成溶液的污染,进而导致管路中结垢或堵塞,系统可靠性较差。

## 发明内容

[0004] 为了解决现有技术存在的上述不足,申请人提出一种集水及余热回收、污染物脱除的新型湿烟气源热泵,湿烟气提高烟气压力后,其温度随之升高,随后与循环水进行直接接触式换热,其中烟气降温释放显热,烟气中水蒸汽达到饱和状态后进一步释放汽化潜热。升温的循环水进入用户端热输出装置中输出热量后,降温进入换热器中喷淋完成循环。在运行过程中,该装置可利用湿烟气中水蒸汽的汽化潜热,出口烟气为正压状态,烟气的露点温度提高,水蒸汽更容易达到饱和状态冷凝。同时,烟气压力升高后其含湿量降低,相较于一般直接接触式冷凝方式,可冷凝更多水蒸汽,进而回收更多余热。降温后的饱和湿烟气进入涡轮,依靠气体释压过程的膨胀力,推动涡轮叶轮旋转,带动发电机发电或输出机械能同轴带动循环水泵电机做功,最终达到常压状态排放。以20kW燃气机组尾部烟气为例,烟气流量约为 $316\text{m}^3/\text{h}$ ,初始温度约为 $50^\circ\text{C}$ ,通过理论分析及模拟表明,通过本方法可使约 $0.65\text{m}^3/\text{h}$ 的地热回水由 $20^\circ\text{C}$ 加热至 $45^\circ\text{C}$ ,系统COP大于1.6,有明显的余热回收效果;同时,系统可实现对 $50^\circ\text{C}$ 湿烟气中约59.3%水蒸汽的回收,经膨胀后的烟气以 $28.7^\circ\text{C}$ 排放至环境。

[0005] 该装置通过对湿烟气中潜热的回收、提质利用,实现类似于热泵的效果,可被视为一种新式热泵系统。本发明采用如下方案:

[0006] 一种根据排烟温度控制喷淋的湿烟气源热泵系统,所述系统包括烟气入口、换热器、烟气压力调节装置、压力控制阀、控制器、涡轮、循环水箱和用户端热输出装置,循环水泵I设置在用户端热输出装置与换热器之间的管路上,换热器上部烟气出口设置温度和/或压力传感器,用于检测排出的烟气的温度和/或压力,循环水泵I、温度传感器与控制器进行数据连接,所述控制器根据检测的温度和/或压力自动调节循环水泵I的功率,从而保证输出的烟气温度和压力满足换热器换热要求。

[0007] 作为优选,涡轮与循环水泵I连接,用于向循环水泵I输送电能,涡轮与控制器数据连接,所述控制器控制涡轮向循环水泵I输送能量的大小来控制循环水泵I的功率。

[0008] 作为优选,当检测的烟气温度低于设定温度和/或压力下限时候,控制器控制循环水泵I功率降低,从而减少进入换热器的冷源流量,提高换热器输出的烟气温度。

[0009] 作为优选,当检测的烟气温度高于设定温度和/或压力上限时候,控制器控制循环水泵I的功率增加,从而增加进入换热器的冷源流量,从而降低换热器中输出的烟气温度。

[0010] 所述烟气入口连接烟气压力调节装置,烟气压力调节装置连接换热器,换热器上端烟气出口连接涡轮,烟气出口和涡轮之间的管路上设置第一压力控制阀,所述换热器下端的热热水出口连接循环水箱,热水出口和循环水箱之间的管路上设置第二压力控制阀,所述循环水箱连接用户端热输出装置,用户端热输出装置连接换热器,所述涡轮向循环水泵输送能量。

[0011] 作为优选,所述换热器中设置除沫器和除雾器,所述除雾器设置在除沫器的上部,用户端热输出装置与换热器之间的连接管路伸入到换热器中并设置在除沫器的下部。

[0012] 作为优选,所述水箱中设置过滤装置、加药补水口和取水口,所述加药补水口和取水口设置在过滤装置的下部。

[0013] 作为优选,所述水箱和用户端热输出装置之间的管路上设置循环水泵,所述用户端热输出装置与换热器之间的管路上设置循环水泵。

[0014] 作为优选,烟气压力调节装置包括压缩机。

[0015] 作为优选,涡轮7的烟气压力为与换热器中的烟气压力保持一致,为烟气压力调节装置增压量与环境压力之和,本实施方式中约为80kPa正压。温度为换热器烟气出口温度,约为45℃。由于换热后气体压力高于环境压力,在其释放到环境过程中会膨胀做功,因此利用该部分膨胀功带动涡轮转动做功,可将气体内能转化为机械能形式。涡轮叶轮旋转,带动发电机发电或输出机械能同轴带动系统内循环水泵电机做功。膨胀后的低温烟气以环境压力排放至环境中,其温度对应烟气增压后湿饱和状态,约为28.7℃。

[0016] 一种系统的集水及余热回收、污染物脱除方法,其特征在于,湿烟气经烟气管道进入烟气压力调节装置,变成高温高压的烟气,随后通入换热器中,高温高压烟气与循环水进行直接接触式换热,其中烟气降温释放显热,烟气中水蒸汽达到饱和状态后进一步释放汽化潜热,实现对于烟气汽化潜热的回收;循环水在换热器中与烟气进行接触式换热,升温后的循环水回流至循环水箱,经过滤、加药反应工艺后,在循环水泵进行增压后泵送至用户端热输出装置释放热量,降温的循环水经过循环水泵增压后,进入换热器中喷淋完成循环;降温后的饱和湿烟气经过除雾器、除沫器,除去粒径较大的雾滴,随后进入涡轮,依靠高压气体的膨胀力推动涡轮叶轮旋转,带动发电机发电或输出机械能同轴带动循环水泵电机做功,最终达到常压状态排放。

[0017] 与现有技术相比较,本发明具有如下的优点:

[0018] 1. 本发明通过上述的根据换热器出口烟气温度压力控制循环水泵I的大小,可以实现保证进入换热器热水出口温度及流量满足供热要求,进而改变进入涡轮中烟气参数,同时满足系统内设备电能的使用。

[0019] 2. 本发明首次将集水及余热回收、污染物脱除、烟气自发电回用融合到一个系统,使得余热回收和污染物脱除后的烟气直接用于生成机械能,进而输出机械能或电能,并且发电的电能还可以用于系统的循环水泵或周围小型设备的能量来源,从而达到整体的集水及余热回收、污染物脱除、烟气自发电回用一体化系统。

[0020] 3. 本发明装置中,湿烟气经压力调节装置提高压力后,烟气温度升高,烟气由进口处饱和状态变为过热状态,烟气压力露点温度随压力升高而升高,与水进行接触式换热时可冷凝更多水分,进入液态循环水中的汽化潜热量也进一步增多,装置水热回收效率相较于传统方式有明显提升。

[0021] 4. 本发明装置中,高压饱和湿烟气经涡轮绝热膨胀做功后,烟气出口压力为大气压力,烟气出口温度低于大气压力下对应饱和温度,湿烟气为不饱和状态,降低白烟生成几率。

[0022] 5. 本发明装置中,湿烟气压力升高,烟气体积降低,烟道、换热器截面积也可缩小,进而降低部分设备的制造投入成本。

[0023] 6. 通过改变循环水泵的流量和压力参数,随之对喷淋量的控制,进而调节换热器循环水出水温度。有利于实现在一定范围内对循环水出口温度的调节,便于输出端热用户的控制及使用。

[0024] 7. 烟气中存在浆液雾滴、颗粒物、剩余 $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$ ,烟气经换热器后,酸性气体可与水发生反应,形成酸液;循环水经喷嘴雾化后,增大气液接触面积,有利于酸雾的形成,经循环水的洗涤作用,酸雾、颗粒物可被循环水捕捉;同时雾化的液滴、冷凝的水蒸汽均可作为凝结核心,在晶核成长过程中吸附颗粒物,对有利于污染物组分的脱除。

[0025] 8. 烟气经调压后, 烟气中各组分的分压力随烟气总压力的升高而升高, 污染物组分的分压力远大于液相中组分的饱和蒸气压, 可有效强化气体组分向液相的扩散作用, 促进吸收过程。

[0026] 9. 本发明通过设置挡板, 使得喷淋的流体和烟气可以在挡板停留更多时间, 增加换热时间。同时可以使得气液在流体孔进行集中换热, 避免换热短路区域出现。

## 附图说明

[0027] 图1为一种集水、余热回收、污染物脱除的新型湿烟气源热泵的结构示意图;

[0028] 其中, 1、烟气入口, 2、烟气压力调节装置, 3、换热器, 4、除雾器, 5、烟气出口, 6、压力控制阀, 7、涡轮, 8、除沫器, 9、循环水泵I, 10、用户端热输出装置, 11、循环水泵II, 12、取水口, 13、循环水箱, 14、加药补水口, 15、过滤装置, 16、压力控制阀, 17、控制器, 18、挡板。

## 具体实施方式

[0029] 下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

[0030] 图1展示了一种集水及余热回收、污染物脱除的湿烟气源热泵系统。如图1所示, 所述系统包括烟气入口1、换热器3、烟气压力调节装置2、压力控制阀6和16、涡轮7、循环水箱13和用户端热输出装置10, 所述烟气入口1连接烟气压力调节装置2, 烟气压力调节装置2连接换热器3, 换热器3上端烟气出口连接涡轮7, 烟气出口5和涡轮7之间的管路上设置第一压力控制阀6, 所述换热器3下端的热水出口连接循环水箱13, 热水出口和循环水箱13之间的管路上设置第二压力控制阀16, 所述循环水箱13连接用户端热输出装置10, 用户端热输出装置10连接换热器3, 所述涡轮7向循环水泵9输送能量。

[0031] 作为优选, 所述连接管路末端连接喷淋装置, 所述烟气压力调节装置2与换热器3连接管路伸入到换热器中并位于喷淋装置的下部。通过喷淋装置的喷淋使得烟气和水进行充分混合换热, 提高换热效果。

[0032] 作为优选, 所述水箱13中设置过滤装置15、加药补水口14和取水口12, 所述加药补水口和取水口设置在过滤装置的下部。

[0033] 作为优选, 所述水箱和用户端热输出装置之间的管路上设置循环水泵11, 所述用户端热输出装置与换热器之间的管路上设置循环水泵9。

[0034] 作为优选, 烟气压力调节装置2包括压缩机。湿烟气经压力调节装置提高压力后, 烟气温度升高, 烟气由进口处饱和状态变为过热状态, 烟气压力露点温度随压力升高而升高, 与水进行接触式换热时可冷凝更多水分, 进入液态循环水中的汽化潜热量也进一步增多, 装置水热回收效率相较于传统方式有明显提升。

[0035] 如图1所示的集水及余热回收、污染物脱除方法, 湿烟气经烟气管道进入烟气压力调节装置, 变成高温高压的烟气, 随后通入换热器中, 高温高压烟气与循环水进行直接接触式换热, 其中烟气降温释放显热, 烟气中水蒸汽达到饱和状态后进一步释放汽化潜热, 实现对于烟气汽化潜热的回收; 循环水在换热器中与烟气进行接触式换热, 升温后的循环水回流至循环水箱, 经过滤、加药反应工艺后, 在循环水泵进行增压后泵送至用户端热输出装置释放热量, 降温的循环水经过循环水泵增压后, 进入换热器中喷淋完成循环; 降温后的饱和湿烟气经过除雾器、除沫器, 除去粒径较大的雾滴, 随后进入涡轮, 依靠高压气体的膨胀力

推动涡轮叶轮旋转,带动发电机发电或输出机械能同轴带动循环水泵电机做功,最终达到常压状态排放。

[0036] 作为优选,所述烟气压力调节装置2可选用蒸汽压缩机等压力变送装置。因湿烟气中含湿量较高,可采用涂料防腐、材料防腐等方式。选用变频式压缩机,可调节压缩机的功率,用于调节系统的烟气参数。本申请可以根据实际需要调节压力调节装置的功率,从而使得输送的烟气流量根据需要发生变化。例如当检测的换热器中输出的烟气的压力和温度低于预定的压力和温度,则系统智能压力调节装置的功率,使得输出的烟气流量增加,同时提高压力调节阀阈值,从而保证进入换热器热水出口温度及流量以满足供热要求,进而改变进入涡轮中烟气参数。

[0037] 作为优选,换热器3上部烟气出口设置温度和/或压力传感器,用于检测排出的烟气的温度和/或压力,烟气压力调节装置2、温度传感器与控制器进行数据连接,所述控制器根据检测的温度和/或压力自动调节烟气压力调节装置2的功率,从而保证输出的烟气流量满足换热器换热要求。

[0038] 作为优选,压力控制阀、温度传感器与控制器进行数据连接,所述控制器根据检测的温度和/或压力自动调节压力控制阀的阈值,从而保证换热器内的烟气温度、压力满足换热器换热要求。

[0039] 作为优选,涡轮7与控制器数据连接,所述控制器控制涡轮7向循环水泵9输送能量的大小来控制进入换热器内循环水的流量。

[0040] 作为优选,当检测的烟气温度低于设定温度和/或压力下限时候,控制器控制烟气压力调节装置2的功率增加,从而提高进入换热器3中的烟气流量。

[0041] 作为优选,当检测的烟气温度低于设定温度和/或压力下限时候,控制器控制压力控制阀阈值提高,从而提高进入换热器3中的烟气温度及压力。

[0042] 作为优选,当检测的烟气温度高于设定温度和/或压力上限时候,控制器控制烟气压力调节装置2的功率降低,从而降低进入换热器3中的烟气流量。

[0043] 作为优选,当检测的烟气温度高于设定温度和/或压力上限时候,控制器控制压力控制阀阈值降低,从而降低进入换热器3中的烟气温度及压力。通过如此设置,一方面能够使得涡轮7获得更多的机械能,以机械能或电能输送利用,也能使得更多的能量在换热器3中进行热交换,更好的满足用户需要。

[0044] 上述根据换热器3出口烟气温度压力控制烟气压力调节装置2的功率,可以实现保证进入涡轮7的压力和温度满足涡轮旋转输出机械能或发电要求,同时使得更多的电能输出以及满足用户供热需要。

[0045] 作为优选,循环水泵I9与控制器进行数据连接,所述控制器根据换热器3上部烟气出口温度控制循环水泵I9的功率的大小。

[0046] 作为优选,换热器3上部烟气出口设置温度和/或压力传感器,用于检测排出的烟气的温度和/或压力,循环水泵I9、温度传感器与控制器进行数据连接,所述控制器根据检测的温度和/或压力自动调节循环水泵I9的功率,从而保证进入换热器热水出口温度及流量以满足供热要求,进而改变进入涡轮中烟气参数。

[0047] 作为优选,涡轮7与循环水泵I9连接,用于向循环水泵I9输送电能或机械能,涡轮7与控制器数据连接,所述控制器控制涡轮7向循环水泵I9输送能量的大小来控制循环水泵I

9的功率。

[0048] 作为优选,当检测的烟气温度低于设定温度和/或压力下限时候,控制器控制循环水泵I9功率降低,从而减少进入换热器的冷源流量,提高换热器3输出的烟气温度和压力。

[0049] 作为优选,当检测的烟气温度高于设定温度和/或压力上限时候,控制器控制循环水泵I9的功率增加,从而增加进入换热器的冷源流量,从而降低换热器3中输出的烟气温度和压力。通过如此设置,可使得更多的能量在换热器3中进行热交换,更好的满足用户需要。

[0050] 通过上述的根据换热器3出口烟气温度压力控制循环水泵I9的大小,可以实现保证进入换热器3中的循环水流量满足换热需求,同时使得涡轮7的压力和温度满足发电要求,更多的电能输出以及满足用户供热需要。

[0051] 作为优选,所述换热器3为直接接触式换热器,可采用喷淋塔、板式塔、填料塔等气液接触式反应装置。湿烟气由反应塔中部进入反应塔,由反应塔顶部离开反应塔;循环水由反应塔上方进入反应塔,由反应塔底部离开反应塔。

[0052] 作为一个改进,所述的换热器3内设置水平挡板,所述挡板延伸了换热器3壳体的整个横截面,所述挡板设置在喷淋装置和换热器烟气入口之间,所述挡板上设置流体孔,所述烟气通过流体孔向上流动,同时水从下部向下流动。

[0053] 本发明通过设置挡板,使得喷淋的流体和烟气可以在挡板停留更多时间,增加换热时间。同时可以使得气液在流体孔进行集中换热,避免流动换热短路区域出现。

[0054] 作为优选,挡板为多个。通过多个挡板,流体通过流体孔流出挡板,进入下一个挡板空间,在挡板之间停留更多时间,继续进行换热。可以充分的不间断的利用热量。

[0055] 作为优选,最上部和最下部的挡板的流体孔分布密度呈不均匀分布。从最上部和最下部的挡板的中心到挡板与换热器3外壳的连接位置,通流孔的分布密度越来越大。由于无论喷头在喷射中还是烟气输入中,中心分布的流体最多,而从中心向外部开始分布的流体就开始减少,因此通过设置流体孔呈不均匀分布,使得能够在通过流体孔向上向下流动过程中分布均匀,避免局部温度过高,导致损坏。

[0056] 作为优选,最上部的挡板和最下部的挡板从挡板的中心到挡板与外壳的连接位置,通流孔的分布密度越来越大的幅度不断增加。通过上述设置,能够进一步满足流体分布均匀的要求。

[0057] 作为优选,所述的水平挡板具有两种类型,第一种类型是从挡板18的中心到挡板边部(挡板与换热器外壳的连接位置),通流孔的分布密度越来越大。第二种类型是从挡板的中心到挡板边部(挡板与外壳的连接位置),通流孔的分布密度越来越小。沿着高度方向设置多块平行的挡板,相邻的挡板的类型不同。通过设置相邻的挡板的类型不同,使得挡板形成类似折流板的形式。使得上一个挡板中心或者四周流体量最多,流体流入下一个挡板后,流体需要流动到四周或者中心,增加流体的流动路径,使得流体能够充分的与换热部件接触,提高换热效果。

[0058] 作为优选,最上部和最下部的挡板是第一种类型。

[0059] 通过设置挡板,也能使得烟气中的颗粒物更多的溶于水中,减少排气的污染。

[0060] 作为优选,所述挡板件是金属件。通过设置金属件起到强化传热作用。

[0061] 作为优选,沿着下部到上部,相邻挡板之间的间距先增加,然后在某一位置处开始不断的减小。

[0062] 某一位置优选是喷淋装置和换热器烟气入口之间的中间位置。

[0063] 通过上述设置,主要是烟气入口的烟气温度最高,通过挡板之间的间距不断增加,使得下部挡板数量最多,使得下部的挡板之间的烟气与水之间更加充分的换热。同理,因为喷淋水的温度最低,通过水流动方向挡板之间的间距不断增加,使得上部挡板数量最多,使得上部的挡板之间的烟气与水之间更加充分的换热。通过上述的设置,使得上述换热器之间更加满足逆流换热效果,使得两个入口之间的换热效率最高,换热时间最长,相对于正常的逆流换热效果,换热效果更好,能够进一步提高换热效率。

[0064] 作为优选,沿着下部到上部,相邻挡板之间的间距不断增加的幅度以越来越大,然后在某一位置处开始不断的减小的幅度越来越大。此结构的幅度的选择也是经过大量实验和数值模拟的结果,进一步的提高7%左右的换热效率。

[0065] 作为优选,为防止烟气经换热器底部管道流出,反应塔中需保持一定液位高度作为液封,液位高度为冷却水液面处到第二压力控制阀处的距离,可设置为1m。此时第二压力控制阀设置压力参数为换热器内绝对压力值与液位高度水头之差。

[0066] 作为优选,所述换热器3由于流经其内部烟气温度较高且其内部压力高于外界环境压力,设计材料需选用不锈钢等耐压材料。换热器中压力为烟气压力调节装置增压量与环境压力之和,如环境压力为101.3kPa,烟气增压量为80kPa,则换热器中压力为181.3kPa,可通过布置于换热器上侧烟气出口及下侧冷却水出口的压力控制阀进行调节控制。

[0067] 作为优选,所述除沫器8、除雾器4布置于换热器3内部上方,用于滤除随烟气夹带的液滴。除沫器可选用丝网除沫器、除雾器可选用折流板式除雾器。

[0068] 作为优选,所述换热器3中设置除沫器8和除雾器4,所述除雾器4设置在除沫器8的上部,用户端热输出装置10与换热器3之间的连接管路伸入到换热器3中并设置在除沫器8的下部。由于循环冷却水采用喷淋形式进入换热器,内部空气与冷却水逆向接触且流速较高,可通过除雾器与除沫器对大颗粒液滴进行捕集固定。

[0069] 所述循环水泵Ⅱ11用于提升管道内循环水压力。循环水泵I9提供的压力用于保证换热器3中喷淋装置,优选是喷嘴的工作状态,压力、流量参数由喷嘴的喷淋工况确定。循环水泵Ⅱ11提供的压力用于保证用户端热输出装置10中循环水的流动换热状态,压力、温度、流量参数由用户端热输出装置热力计算结果反馈调节。所述热力过程通过换热器3气液能量平衡进行计算。计算过程不考虑设备散热损失,可得到气液能量平衡方程为:

$$[0070] \quad m_f \Delta h_f = c_w m_w \Delta T_w$$

[0071] 其中, $m_f$ 、 $m_w$ 分别为烟气与循环水质量流量, $\Delta h_f$ 为换热器烟气进出口比焓差, $c_w$ 为循环水定压比热容, $\Delta T_w$ 为换热器循环水进出口温差。

[0072] 烟气比焓h可通过烟气焓值经验公式进行计算:

$$[0073] \quad h = 1.01t + (2500 + 1.84t) d$$

[0074] 压缩后烟气温度可根据多变过程T、P关系进行计算:

$$[0075] \quad T_1 P_1^{\frac{n-1}{n}} = T_2 P_2^{\frac{n-1}{n}}$$

[0076] 其中n为该热力过程的多变指数,可取n=1.55。

[0077] 含湿量d为:

$$[0078] \quad d = 0.622 \frac{P_s}{P_b - P_s}$$

[0079]  $P_b$ 为气体压力, $P_s$ 为水蒸气分压力,可使用Antoine水的饱和蒸汽压与温度关系方程计算:

$$[0080] \quad \ln P_s = 9.3876 - \frac{3826.36}{T - 45.47}$$

[0081] 根据以上方程,由于进入该系统烟气参数可作为已知数据,可得到换热器循环水出口温度 $T'_w$ 与循环水流量 $m_w$ 间关系。

[0082] 所述压力控制阀6、压力控制阀16用于控制换热器中压力参数,可选用自立式压力调节阀或数字式压力调节阀。由于系统为连续进气,利用自立式压力调节阀或数字式压力调节阀进行间歇式压力控制。压力调节阀采用阀后减压方式,压力控制值与烟气压力调节装置设定值一致。当换热器内压强低于设定值时,调节阀处于关闭状态,升压后的烟气在换热器中富集,内部压强逐步增大;当换热器内压强高于设定值时,调节阀处于开启状态,烟气经调节阀离开换热器,内部压强逐步降低,调节阀复位,最终恢复关闭状态。以换热器内压强为80kPa正压为例,换热器液位高度为1m,环境压强为101kPa,则第一压力控制阀的压力控制参数为181kPa,第二压力控制阀的压力控制参数为换热器内压强与液位水头压强(9.8kPa)之差,即171.2kPa。

[0083] 所述用户端热输出装置10为用户端热利用设备,可采用常见换热形式以利用循环水热量。本实例采用家用散热器采暖工艺形式作为热利用装置。散热器入口温度为20℃,出口温度为45℃,最大热水量为0.65m<sup>3</sup>/h,出口温度、热水量可根据用户端需求,利用系统循环水量、烟气增压量,进行反馈调节。

[0084] 所述循环水箱13用于储存该系统的循环水并起缓冲作用,同时也可通过控制循环水流量调节系统运行温度。循环水在换热器3进行气液换热后,受到塔内压强作用流动至下方循环水箱13中。由于系统运行时烟气中微量杂质、颗粒物等溶于循环水中,长期运行将导致富集于循环水中,循环水箱内部需设置水处理装置及过滤装置。

[0085] 所述加药补水口14设置在循环水箱13底部,用于污染物处理药剂的投放,可采用定时投放、连续投放等加药方式。

[0086] 所述取水口12也设置在循环水箱13底部,由于系统可提取烟气中的水蒸气进入循环水中,长期运行将打破系统原有水分的质量平衡,因此需对回收的水分进行提取。同时,取水口12也可用于循环水箱13中循环水的排出。

[0087] 所述过滤装置15位于循环水箱13内部,用于过滤较大粒径的颗粒物或沉淀物质。

[0088] 一种根据排烟温度控制喷淋的湿烟气源热泵系统的工作方法,包括:

[0089] 湿烟气进入烟气压力调节装置2中调节烟气压力参数,可将烟气压力提高,烟气温度随之升高,之后通入换热器3中,烟气与循环水进行直接接触式换热,其中烟气降温释放显热,烟气中水蒸汽达到饱和状态后进一步释放汽化潜热。换热器3上方设置压力控制阀6,下方设置压力控制阀16,用于控制换热器3中的压力稳定。降温后的饱和湿烟气经过除雾器4、除沫器8,除去粒径较大的雾滴,随后进入涡轮7,依靠气体释压过程的膨胀力,推动涡轮叶轮旋转,带动发电机发电或输出机械能同轴带动循环水泵电机做功,最终达到常压状态排放。循环水在换热器3中与烟气进行接触式换热,升温后的循环水受压强作用回流至循环

水箱13,经过滤、加药反应等工艺后,在循环水泵11进行增压后泵送至用户端热输出装置10释放热量。降温的循环水经过循环水泵I9增压后,进入换热器3中喷淋完成循环。

[0090] 饱和湿烟气经烟气压力调节装置升压后,湿烟气中水蒸气由饱和状态转变为过热状态,湿烟气的露点温度随压力增大而提高。以1.8倍升压比为例,可将50℃饱和湿烟气提升至约125℃。由于循环水温度远低于过热烟气温度,气液直接接触后,过热烟气降温至该压力下水蒸气的饱和温度,过程中释放烟气的显热;受气液温差,饱和烟气进一步降温放热,该阶段释放干烟气组分的显热与水蒸气的汽化潜热。

[0091] 由于湿烟气露点提高,与传统常压接触式冷凝器相比,冷凝至相同温度可冷凝水量增加。因此可实现对湿烟气中水蒸气的回收。

[0092] 雾化的循环水液滴及小粒径冷凝水液滴可作为晶核吸附烟气中的污染物气体分子、颗粒物,在加压作用下进一步促进了扩散作用,强化了吸附能力。降温后烟气离开换热器后,进入涡轮,可膨胀发电或输出机械能同轴带动循环水泵电机做功。释压至常压后的烟气温度进一步降低,且为不饱和状态。循环水在接触过程中吸收烟气的显热及水蒸气的汽化潜热,自身温度升高,离开换热器后作为输出热源对外供热。

[0093] 所述循环水泵II用于提升管道内循环水压力,可采用离心泵。循环水泵I提供的压力用于保证烟气-水换热器中喷嘴的工作状态,压力、流量参数由喷嘴的喷淋工况确定。循环水泵II提供的压力用于保证用户端热输出装置中循环水的流动换热状态,压力、流量参数由用户端热输出装置热力计算结果确定。

[0094] 所述压力控制阀用于控制烟气-水换热器中压力参数,选用数字式压力调节阀。

[0095] 所述循环水箱位于烟气-水换热器与压力控制阀下方,用于储存该系统的循环水、起缓冲作用,同时也可通过循环水流量调节,系统运行温度。循环水在烟气-水换热器进行气液换热后,受到塔内压强作用流动至下方循环水箱中。由于系统运行时烟气中微量杂质、颗粒物等溶于循环水中,长期运行将导致富集于循环水中,循环水箱内部需设置水处理装置及过滤装置。在循环水箱底部设置加药补水口与取水口。

[0096] 所述加药补水口设置在循环水箱底部,用于污染物处理药剂的投放,采用定时投放的加药方式。所述取水口也设置在循环水箱底部,用于提取系统回收的水分及循环水箱中循环水的排出。所述过滤装置位于循环水箱内部,用于过滤较大粒径的颗粒物或沉淀物质。

[0097] 经初步计算及实验校核,以冬季20℃地暖采暖回水温度作为用户端热输出装置出口温度,烟气升压比为1.8时,经本系统回收余热热量加热后,可实现将循环水加热至45℃左右,可满足地暖采暖进水温度要求,此工况状态下COP可达到1.6以上,回收效果较好。

[0098] 已有的蒸汽机械再压缩技术(MVR)或空气再压缩式热泵(VRC),其原理可归纳为将蒸发器产生的二次蒸汽经过压缩机压缩,使其压力、温度上升,增加热焓之后,再作为蒸发器的热源使用,将二次蒸汽中的潜热得到充分利用,从而达到节能的目的。相较于以上两种压缩式能量提质装置,本发明具有以下创新点:

[0099] (1) 采用湿烟气作为载热工质,湿烟气中水蒸汽汽化潜热作为低温热源,在烟气源热泵进行能量提质、水分回收及杂质处理等工艺,装置兼具节能、环保的效果。

[0100] (2) 压缩后的烟气其露点温度提高,烟气中析出水分量增大,通过气液接触式换热器可将烟气中的水分有效提取,较已有两种形式装置可节省冷凝设备的投资,降低了系统

的成本。

[0101] (3) 相较于间接式换热形式,接触式换热可有效降低换热器端差,有效提高吸热介质的出口温度,能量提质效果更明显。

[0102] (4) 烟气经换热后,释压推动涡轮叶轮做功,将气体膨胀力转化为机械能带动发电机发电或输出机械能同轴带动循环水泵电机做功,最终达到常压状态排放,进一步实现能量的梯级有效利用。

[0103] 在系统的整个流程中,可实现对于烟气余热的利用、烟气中水分的回收及污染物组分的捕集,有极强的工程实践意义。

[0104] 虽然本发明已以较佳实施例披露如上,但本发明并非限于此。任何本领域技术人员,在不脱离本发明的精神和范围内,均可作各种更动与修改,因此本发明的保护范围应当以权利要求所限定的范围为准。

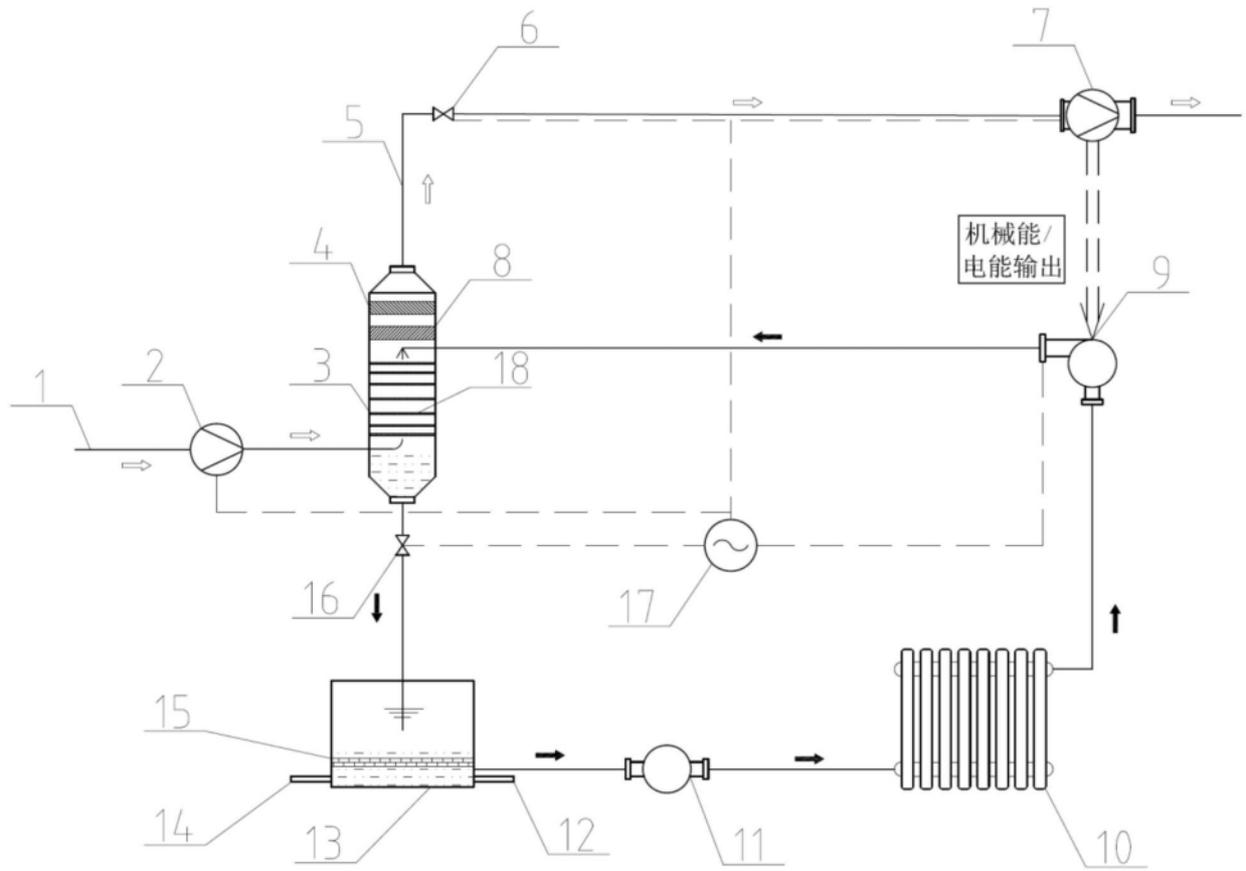


图1