



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113871658 B

(45) 授权公告日 2023. 02. 17

(21) 申请号 202111052497.8

(22) 申请日 2021.09.08

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113871658 A

(43) 申请公布日 2021.12.31

(73) 专利权人 上海齐耀动力技术有限公司
地址 201203 上海市浦东新区牛顿路400号
专利权人 中国船舶重工集团公司第七一一
研究所
中国船舶集团有限公司

(72) 发明人 杜忠选 张林 崔立军 王林涛
刘丰 邓笔财 李启玉

(74) 专利代理机构 上海硕力知识产权代理事务
所(普通合伙) 31251
专利代理师 王法男

(51) Int.Cl.

H01M 8/04119 (2016.01)

H01M 8/04007 (2016.01)

H01M 8/04029 (2016.01)

H01M 8/04701 (2016.01)

H01M 8/04828 (2016.01)

(56) 对比文件

CN 211480196 U, 2020.09.11

CN 101165952 A, 2008.04.23

CN 209357839 U, 2019.09.06

CN 210467992 U, 2020.05.05

CN 106992307 A, 2017.07.28

CN 111525164 A, 2020.08.11

审查员 刘宇航

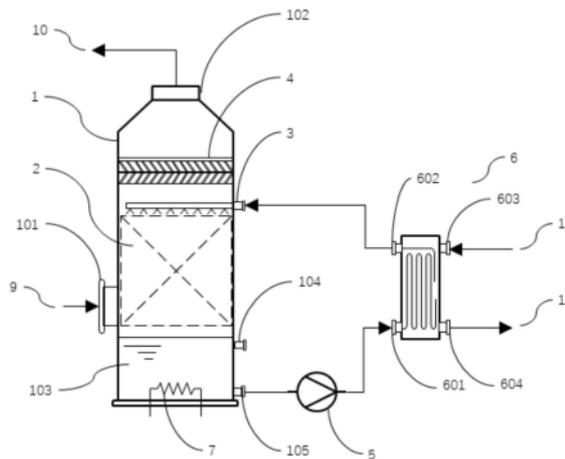
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

一种固定式燃料电池电站用加湿系统及控制方法

(57) 摘要

本申请提供了一种固定式燃料电池电站用加湿系统及控制方法。加湿系统包括塔体,塔体具有进气口和出气口,进气口和出气口之间依次在塔体内设置有填料层、喷淋装置和液滴拦截装置,喷淋装置包括非雾化的滴淋头。通过水泵将塔体底部储水槽内的水经第一余热交换器加热后泵送至喷淋装置。储水槽内还设置有电加热器和第二余热交换器,用于加热储水槽内的水。余热交换器连接至电堆循环水系统。电加热器通过PID控制器控温加热。控制方法包括步骤:电加热器开至最大功率将储水槽内的水进行预热;启动加湿系统和燃料电池电站,并通过电加热器维持喷淋装置的水温。本申请成本低、寿命长、控制简单、能源利用效率高,并能防止反应气体夹带雾滴。



1. 一种固定式燃料电池电站用加湿系统,其特征在于,包括:
塔体,具有出气口和进气口;
填料层;
液滴拦截装置,所述填料层和所述液滴拦截装置依次设置于所述进气口和所述出气口之间;
喷淋装置,用于向所述填料层喷洒液体;
气体适于自所述进气口进入所述塔体,并依次经过所述填料层加湿、经过所述液滴拦截装置去除夹带的雾状液滴后经过所述出气口排出;
还包括喷淋水循环装置,所述喷淋水循环装置包括水泵和第一余热交换器;所述第一余热交换器具有喷淋水入口、喷淋水出口、第一电堆循环水入口、第一电堆循环水出口,所述第一电堆循环水入口和所述第一电堆循环水出口连接至所述固定式燃料电池电站的电堆循环水系统,所述第一电堆循环水入口高于所述第一电堆循环水出口设置、所述喷淋水出口高于所述喷淋水入口设置;所述塔体底部构成储水槽,所述水泵的进口连接至所述储水槽、出口连接至所述喷淋水入口;所述喷淋水出口连接至所述喷淋装置;所述喷淋装置包括非雾化的滴淋头;
所述储水槽内浸没设置有第二余热交换器;所述第二余热交换器具有第二电堆循环水入口、第二电堆循环水出口,所述第二电堆循环水入口高于所述第二电堆循环水出口设置,所述第二电堆循环水入口和所述第二电堆循环水出口连接至所述固定式燃料电池电站的电堆循环水系统。
2. 根据权利要求1所述的固定式燃料电池电站用加湿系统,其特征在于:
所述液滴拦截装置为丝网除沫器、波纹板式除雾器、屋脊式除雾器、管束式除雾器中的一种或组合。
3. 根据权利要求1所述的固定式燃料电池电站用加湿系统,其特征在于:
所述填料层包括至少一层塔板,所述塔板为散堆填料板、规整填料板、精馏塔板、浮法塔板中的一种或组合。
4. 根据权利要求1所述的固定式燃料电池电站用加湿系统,其特征在于:
所述第二余热交换器与所述第一余热交换器并联或串联设置。
5. 根据权利要求1所述的固定式燃料电池电站用加湿系统,其特征在于:
还包括设置于所述储水槽内的加热器,用于加热所述储水槽内的水;
所述储水槽设置有补水口,用于为所述储水槽补水。
6. 根据权利要求5所述的固定式燃料电池电站用加湿系统,其特征在于:
还包括PID控制器,所述加热器为电加热器,并通过所述PID控制器控温加热;
所述PID控制器的输入信号为所述喷淋装置的水温。
7. 一种加湿系统控制方法,其特征在于:
用于控制权利要求5或6所述的固定式燃料电池电站用加湿系统,包括步骤:
S1. 将所述加热器开至最大功率,将所述储水槽内的水预热至预设温度;
S2. 启动所述固定式燃料电池电站用加湿系统的其他部分,并通过控制所述加热器的功率控制所述喷淋装置的水温。
8. 根据权利要求7所述的加湿系统控制方法,其特征在于:

所述的固定式燃料电池电站用加湿系统包括PID控制器；
在所述步骤S2中,通过所述PID控制器控制所述加热器的功率。

一种固定式燃料电池电站用加湿系统及控制方法

技术领域

[0001] 本申请涉及加湿系统技术领域,尤其涉及一种固定式燃料电池电站用加湿系统及控制方法。

背景技术

[0002] 燃料电池是一种将燃料中的化学能直接转化为电能的能量转换器,具有能量转化效率高,零排放、响应速度快等优点。质子交换膜燃料电池,膜的含水量是一个重要的指标。入口反应气体具有较高的相对湿度时,可以保证膜具有足够的含水量。

[0003] 燃料电池的加湿方式分内加湿和外加湿两类,其中外加湿又分为鼓泡法加湿、液态水喷射法加湿、膜加湿、中空纤维加湿、焓轮加湿和自增湿等。其中以鼓泡法加湿、膜加湿较为常用。鼓泡法加湿,其响应速度较慢,无法满足快速加湿的需求,另外当对湿度较低的气体加湿时,鼓泡法出口气体的相对湿度难以达到饱和。膜加湿常用燃料电池阴极出口尾气对反应气体进行加湿,这种方式常用于车用燃料电池加湿,且加湿器价格昂贵,寿命较短。

[0004] 为此,公告号为CN211480196U的实用新型专利提供了一种燃料电池反应气体加热加湿装置,通过喷淋组件、填料层对反应气体进行加湿,并通过设置于出气口的温湿度传感器、温度调节组件和流量调节组件控制系统的加热加湿过程。但是该专利的技术方案在实际应用中存在以下几个问题。

[0005] 1. 喷淋组件在运行过程中会产生大量小液滴,这些小液滴会被反应气体大量带入燃料电池,易导致燃料电池发生水淹事故。

[0006] 2. 该技术方案通过电加热器与换热器(通冷却水)来实现对喷淋水温度的控制,进而实现对反应气体温度的控制;通过调节喷淋水的流量来实现对反应气体湿度的控制,该控制方式实现难度较大,主要原因如下:

[0007] (1) 在加湿罐内,反应气体与喷淋水直接接触,发生传热传质。该过程受诸多因素影响,如加湿罐内的压力,喷淋水入口温度、流量,反应气体入口温度、流量、湿度,填料性能参数(如比表面积、填料负荷、空隙率、亲水性)等。反应气体出口的温度和湿度,是以上因素的共同作用的结果,通过对流量的调节来稳定控制反应气出口的温度和湿度,特别是湿度,是难以实现的。

[0008] (2) 工程实践经验表明:当喷淋水的流量超过某一临界流量时,在逆流接触过程中,空气出口的相对湿度一般为85%以上,无需调节喷淋水流量。该临界流量由填料性质、喷淋装置的类型、加湿负荷等因素决定,其至少需要满足:①将填料表面充分湿润,②喷淋水加湿过程的温降不超过10℃。喷淋水流量临界值一般通过仿真获得初值,再通过试验验证。当喷淋水的流量低于该临界流量时,填料表面积将得不到有效湿润,液体在填料表面不能建立稳定的液膜,此时填料的传质效率将显著下降,反应气体的湿度会剧烈下降,直接影响燃料电池的安全运行。

[0009] 3. 该技术方案通过电加热器和通冷却水的方式调节喷淋水温度。喷淋循环水通过

蒸发向反应气体加湿而温度降低,需要吸收热量方能维持稳定的喷淋温度,当温度过高时,通过冷却水冷却来控制喷淋水温度。该方案能源利用率较低。

[0010] 4. 该方案中的电加热器安装在喷淋管路,在系统的启动过程中和运行初期,无法实现设定温度的加湿。这是因为启动过程中,循环水温需要缓慢升高至设定温度,而在此过程中,加湿气体的温度未达到设定温度。

发明内容

[0011] 针对现有技术存在的以上缺陷,本申请提供了一种能防止加湿气体夹带液滴、控制简单、能源利用率高、提供水温预热功能的固定式燃料电池电站用加湿系统及控制方法。

[0012] 本申请提供的固定式燃料电池电站用加湿系统包括塔体,所述塔体具有出气口和进气口;填料层;液滴拦截装置,所述填料层和所述液滴拦截装置依次设置于所述进气口和所述出气口之间;喷淋装置,用于向所述填料层喷洒液体;气体适于自所述进气口进入所述塔体,并依次经过所述填料层加湿、经过所述液滴拦截装置去除夹带的雾状液滴后经过所述出气口排出。

[0013] 在具体设计时,通过设置足够的气液接触区即填料层、确定合适的喷淋水流量,保证填料层的填料表面充分湿润,进而保证加湿器出气口的反应气体湿度达到饱和,并通过液滴拦截装置去除已加湿的反应气体中夹带的细小液滴,确保燃料电池不因反应气体带水而发生水淹事故。

[0014] 典型地,进气口低于出气口设置,出气口设置于塔体顶部。反应气体从位置较低的进气口进入并向上流动,依次流过填料层、喷淋装置和液滴拦截装置。在填料层,填料具有大面积的气液接触表面,并通过喷淋装置的喷淋水保持气液接触表面的湿润。反应气体经过填料层时实现充分的加湿过程,在上升过程中逐步达到饱和湿度。由于气液接触区扰流的作用,反应气体在上升过程中会夹带细小的液滴,另外喷淋装置在喷淋过程中也会产生雾状液滴,使反应气体不仅带有饱和水蒸气,还带有细小的液滴,会对燃料电池的运行造成不利的影响。为此,在喷淋装置的上方、出气口的下方设置有液滴拦截装置,将上升气流中夹带的雾状液滴拦截分离。

[0015] 优选地,所述液滴拦截装置为丝网除沫器、波纹板式除雾器、屋脊式除雾器、管束式除雾器中的一种或组合。

[0016] 液滴拦截装置的具体类型可以根据反应气体中的液滴夹带量、允许的气体流动阻力等参数确定液滴拦截装置所需的比表面积,并以此选择具体的类型和参数。丝网除沫器主要由金属或非金属丝网、丝网格栅组成丝网块和固定丝网块的支承装置构成,多用于滤除较小和微小液沫,既可以设置于塔体顶部,用于反应气体从出气口排出前的除雾,也可设置于气液接触区的填料板之间,可以减小填料板之间的设计间距、提高气液接触区的传质效率。实际使用中,还可搭配设置多层不同参数的丝网除沫器,并依次叠合设置,以有效拦截不同粒径的雾沫。

[0017] 波纹板式除雾器主要由流线型或折线形的波纹板片和支撑装置构成,当含有雾沫的反应气体以一定的速度流经除雾器时,由于气体的惯性撞击作用,雾沫与波纹板相碰撞而被聚集成较大液滴,液滴克服其自身重力、上升气流的推力和表面张力的合力后往下流回塔体下方的气液接触区,实现气液分离。波纹板设置有多个折向结构,增加了雾沫被捕集

的机会,未被分离的雾沫在下一个转弯处经过相同的作用而被进一步分离。波纹板式除雾器适用于稍大粒径雾沫的分离,可与丝网除沫器搭配使用,但因其波纹板需竖向布置,无法如丝网除沫器设置于气液分离器的塔板之间,多设置于塔顶。实际应用中,因根据上升气流速度、反应气体带水负荷确定波纹板式除雾器的具体设计参数。气流速度增加、波纹折回角增大时,有助于提高除雾效率,但是气流速度过高、波纹折回过大或者过密时又会由于扰流作用造成二次带水,从而降低除雾效率,而且会增加系统阻力、增加能耗。

[0018] 除上述两种常用的除雾器外,还可根据具体的应用场景选用屋脊式除雾器、管束式除雾器、旋风除雾器、电除雾器等装置或组合搭配作为液滴拦截装置,同样根据上升气流速度、气流阻力要求、反应气体带水负荷、目标除雾率等参数进行选型和设计。

[0019] 优选地,所述填料层包括至少一层塔板,所述塔板为散堆填料板、规整填料板、精馏塔板、浮法塔板中的一种或组合;所述填料层的等效塔板数至少为最小理论塔板数。

[0020] 具体设计时,可通过仿真模拟计算确定具体的塔板种类和塔板层数。填料层是对反应气体进行加湿的气液传质装置,包括塔板和塔板上的填料、填料上的压板等构件。填料以散堆或整砌的方式设置于塔板上,其间隙结构具有很大的比表面积,并通过塔体上方的喷淋装置的喷淋达到完全湿润的状态。当反应气体自下往上连续通过间隙结构时,在填料表面进行气液接触完成传质。具体选型和实施方式可根据传质效率要求、气流阻力要求、以及投资和操作费用上的考虑,并通过仿真模拟计算,进行塔板种类、填料方式、塔板层数的选型和设计。

[0021] 优选地,所述固定式燃料电池电站用加湿系统还包括喷淋水循环装置,所述喷淋水循环装置包括水泵和第一余热换热器;所述第一余热换热器具有喷淋水入口、喷淋水出口、第一电堆循环水入口、第一电堆循环水出口,所述第一电堆循环水入口和所述第一电堆循环水出口连接至所述固定式燃料电池电站的电堆循环水系统,所述第一电堆循环水入口高于所述第一电堆循环水出口设置、所述喷淋水出口高于所述喷淋水入口设置;所述塔体底部构成储水槽,所述水泵的进水口连接至所述储水槽、出水口连接至所述喷淋水入口;所述喷淋水出口连接至所述喷淋装置。所述喷淋装置包括非雾化的滴淋头。

[0022] 氢氧燃料电池的发电效率可达50%以上,但仍有很大一部分能量转化为反应余热,未能转化为电能。利用电堆循环水系统的余热对喷淋水进行加热,可以提高能源利用率,并同时减轻电堆冷却系统的负担。将第一电堆循环水入口高于第一电堆循环水出口设置、喷淋水出口高于喷淋水入口设置,即形成交叉逆流换热结构,使来自电堆循环水系统的高温水流和被加热的喷淋水流之间保持一定的温度梯度,可以提高换热效率。设置于塔体底部的储水槽一方面起到储水的作用,在系统运行时,还起到储热的作用,使喷淋循环水保持一定的基础温度,降低喷淋水温度控制的难度。可在储水槽周围的塔体上设置绝热层,提高系统能源利用效率。还可将水泵浸没在储水槽中,进一步利用水泵工作时产生的余热对储水槽内的水进行加温,提高系统能源利用效率。

[0023] 喷淋装置采用了非雾化的滴淋头。此类滴淋头结合匹配设置的气液接触区,既可以满足气液充分接触的要求,同时不会产生大量的细小液滴,进一步减少反应气体的液滴夹带量。通过填料塔板进行气液传质的一个优点是填料层的持液量小,仅需保持气液接触表面保持湿润即可。因此如本说明书的现有技术部分的分析所述,当喷淋水的流量超过某一临界流量时,即可在填料表面建立稳定的液膜、保持填料表面充分湿润。而进一步增加喷

淋流量对提高反应气体的蒸汽饱和度并无益处,反而会增加反应气体的液滴夹带量,因此本申请需要一种流量较小但可精确供水的喷淋装置。非雾化的滴淋头广泛应用于需要精确控制喷淋水流量或者节约用水的农业和矿业等技术领域。而滴淋头除了流量精确稳定的特性之外,还有滴淋过程中几乎不产生细小的雾滴,因此比具有雾化作用的普通喷淋头更加适合用于燃料电池电站用加湿系统。实际应用中,可以根据系统需求确定临界流量,然后选用相应的滴淋头和喷淋水循环系统,而不需要在加湿过程中调节喷淋水的流量,通过总体方案设计保证加湿过程的效率,降低系统运行时的控制难度。

[0024] 优选地,所述储水槽内浸没设置有第二余热交换器;所述第二余热交换器具有第二电堆循环水入口、第二电堆循环水出口,所述第二电堆循环水入口高于所述第二电堆循环水出口设置,所述第二电堆循环水入口和所述第二电堆循环水出口连接至所述固定式燃料电池电站的电堆循环水系统。

[0025] 由于储水槽内储存的水量较多,可以利用更多的电堆余热,起到存储热量和温度缓冲的作用,使喷淋水循环流程内的水温更加均匀、控制更加简单。具体地,第二余热交换器仅需设置沉浸式的蛇管并浸没在储水槽内,并在塔体侧面设置出入口,并连接至电堆循环水系统,结构简单紧凑而且并不占用额外的空间。

[0026] 优选地,所述第二余热交换器与所述第一余热交换器并联或串联设置。

[0027] 可通过阀门灵活控制第一余热交换器和第二余热交换器的连接方式和开闭状态,以更好地利用余热和控制水温。例如在储水池内的水温已达到目标温度时,可以关闭第二余热交换器的供水,仅对第一余热交换器适度供水;在储水池的水温较低,或者循环水温度不高时,可以对第一余热交换器和第二余热交换器充分供水,使喷淋水的温度尽快升高。两个余热交换器串联时结构简单,控制方式也较简单,而并联连接可以提供更灵活的控制方式。

[0028] 优选地,所述固定式燃料电池电站用加湿系统还包括设置于所述储水槽内的加热器,用于加热所述储水槽内的水;所述储水槽设置有补水口,用于为所述储水槽补水。

[0029] 加热器可用于系统启动前和运行初期对储水槽内的水进行预热,使系统运行初期即可进入最佳工作状态,提高系统效率。同时由于加热器的响应速度远高于余热交换器,可以使系统更加准确地控制喷淋水和反应气体的温度,发挥储水槽储热和缓冲的作用,比仅在喷淋水管道上设置加热器的技术方案增加了预热的功能,同时提高了水温控制的稳定性。

[0030] 优选地,所述固定式燃料电池电站用加湿系统还包括PID控制器,所述加热器为电加热器、并通过所述PID控制器控温加热;所述PID控制器的输入信号为所述喷淋装置的水温。

[0031] 电加热器响应速度快,可以在系统预热阶段对储水槽内的水迅速加温,达到最佳工作状态。通过PID控制器可用简单的方式实现闭环控制,结合电加热器的高响应速度,实现喷淋水和反应气体温度的实时准确控制。除了电加热器外,也可选择燃气加热器对储水槽内的水进行加热。例如燃料电池电站采用甲醇水重整制氢技术提供发电用高纯度氢气时,可以在系统正式启动运行前利用燃烧器对重整器进行预热,以使系统在启动过程中和运行初期即达到理想的工作状态。此时也可利用甲醇水重整制氢系统的燃烧器同时对储水槽内的水进行预热和运行时的加热。

[0032] 本申请提供的控制方法用于控制前述的固定式燃料电池电站用加湿系统,包括步骤:

[0033] S1. 将所述加热器开至最大功率,将所述储水槽内的水预热至预设温度;

[0034] S2. 启动所述固定式燃料电池电站用加湿系统的其他部分,并通过控制所述加热器的功率控制所述喷淋装置的水温。

[0035] 如前文分析,将喷淋装置的喷淋水流量设置于临界流量之上,即可保持填料气液接触表面的稳定湿润,而无需在系统运行中控制喷淋水的流量。因此系统仅需对喷淋水温进行控制,使系统控制难度明显降低。而通过对储水槽内的水进行预热,可以使燃料电池电站启动时和运行初期即可获得最佳湿度和温度的反应气体供应,降低电站系统其他子系统的设计和控制难度。

[0036] 优选地,所述的固定式燃料电池电站用加湿系统的所述加热器为电加热器、并通过一PID控制器控温加热;所述PID控制器的输入信号为所述喷淋装置的水温。在所述步骤S2中,通过所述PID控制器控制所述加热器的功率。

[0037] 电加热器可以实现快速预热,有利于燃料电池及电站迅速进入最佳工作状态;并在电堆正常运行、电堆循环水温度上升后,改用主要通过电堆循环水的余热对喷淋水和储水槽内的水进行加温,通过PID控制器控制加热器逐步降低功率,节约能源。正常运行过程中,PID控制器控制加热器对喷淋水温进行微调,保持稳定的喷淋水温度,进而保持稳定的反应气体温度,也有利于反应气体的湿度保持在饱和或接近饱和的状态。

[0038] 本申请的技术效果在于:

[0039] 1. 采用喷淋法加湿可以节省成本、增加系统寿命;相比于膜法的加湿系统,本申请提供的加湿系统造价可大幅降低;且所用组件为金属材料支撑的常规部件,设计寿命一般可达15年以上;

[0040] 2. 采用非雾化的滴淋头,减少了喷淋时细小液滴的产生,同时在加湿系统中设置液滴拦截装置,进一步减少反应气体中的细小液滴,有效解决液滴夹带问题,确保燃料电池不因反应气体带水而发生水淹事故;

[0041] 3. 利用燃料电池电堆余热对喷淋水进行加热,提高了燃料电池电站的能源利用率,同时减轻了电堆冷却系统的负担,使加湿系统同时起到了冷却塔的作用,进一步提高系统效率;

[0042] 4. 利用电加热器对储水槽内的水进行预热,使系统在运行初期即可达到最佳工作状态,并在电堆正常工作后用PID控制器控制加热器的功率,实现喷淋水温度的准确控制并提高能源利用率;

[0043] 5. 通过系统设计,省去喷淋系统的流量控制,在保证加湿效果的同时降低了系统控制的难度和可靠性,保证了燃料电池的安全运行。

附图说明

[0044] 下面结合附图和具体实施方式对本申请作进一步详细说明:

[0045] 图1是实施例一和实施例三的固定式燃料电池电站用加湿系统;

[0046] 图2是实施例二的固定式燃料电池电站用加湿系统;

[0047] 附图标号说明:

[0048] 1.塔体,2.填料层,3.喷淋装置,4.液滴拦截装置,5.水泵,6.第一余热交换器,7.电加热器,8.第二余热交换器,9.加湿前反应气体,10.加湿后反应气体,11.来自电堆的循环水,12.流回电堆的循环水,101.进气口,102.出气口,103.储水槽,104.补水口,105.出水口,601.喷淋水入口,602.喷淋水出口,603.第一电堆循环水入口,604.第一电堆循环水出口,801.第二电堆循环水入口,802.第二电堆循环水出口。

具体实施方式

[0049] 为了更清楚地说明本申请或现有技术中的技术方案,下面将对照附图说明本申请的具体实施方式。为使图面简洁,各图中只示意性地表示出了与本申请相关的部分,它们并不代表其作为产品、方法或工艺流程的实际组成部分。另外,以使图面简洁便于理解,在有些图中具有相同结构或功能的部件或模块,仅示意性地绘示了其中的一个,或仅标出了其中的一个。在本文中,“一个”不仅表示“仅此一个”,也可以表示“多于一个”的情形。

[0050] 还应当进一步理解,在本申请说明书和所附权利要求书中使用的术语“和/或”是指相关联列出的项中的一个或多个的任何组合以及所有可能组合,并且包括这些组合。在本文中,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

[0051] 实施例一:一种固定式燃料电池电站用加湿系统。

[0052] 如图1所示,本实施例的固定式燃料电池电站用加湿系统包括塔体1,塔体1具有位于顶端的出气口102和位于侧面的进气口101,进气口101低于出气口102设置。塔体1内在进气口101和出气口102之间自下而上设置有填料层2、喷淋装置3和液滴拦截装置4;液滴拦截装置4用于分离上升气流中夹带的雾状液滴。

[0053] 加湿前反应气体9从位置较低的进气口101进入塔体1并向上流动,先流经填料层2即气液接触区完成加湿过程,经过喷淋装置3后进入液滴拦截装置4,进行气液分离、完成去除所夹带细小液滴的除雾过程,构成加湿系统的气体加湿流程。本实施例的加湿前反应气体9的温度为60℃、压力为400kPa、流量为200m³/h。加湿后反应气体10的目标温度为55℃、目标湿度为达到饱和湿度。出气口102也可设置在塔体1侧面的上部,以减小塔体高度,可根据需要选择设置。塔体1、填料层2和喷淋装置3均为喷淋塔技术领域的常规结构,比膜加湿等技术方案成本低、寿命长而且工作可靠,同时也比鼓泡法加湿更容易达到饱和湿度、更易控制。

[0054] 圆筒形的塔体1内径为1.2m,相应的上升气流速度为0.05m/s,整体气流较平稳,并不会产生较大的扰流;但在逆流通过填料层2内的气液接触区时,由于局部扰流的作用,上升气流仍会夹带有少量细小液滴。而在出气口2下方设置的液滴拦截装置4可以进行气液分离,保证加湿后反应气体10带水量降至最低。

[0055] 本实施例的液滴拦截装置4选用丝网除沫器,可以有效减少反应气体的液滴夹带。如前文所述,本实施例中,上升气流夹带的细小液滴主要在填料层的填料间隙中产生,液滴的粒径分布多在5微米以下,用惯性式的气液分离装置较难实现完全的气液分离。而丝网除沫器可以有效滤除微小液沫,适合本实施例的应用场景。由于丝网除沫器可以呈水平板状

设置,还可设置于填料区2的填料板之间。通过试验,本实施例选用了比表面积 $625\text{m}^2/\text{m}^3$ 的DP型丝网除沫器,液滴捕集率可达到99%以上,流动阻力即气流压降为约500Pa,也在可接受范围内。

[0056] 在一些其他实施例中,还可将不同参数的丝网除沫器组合使用,可以实现更可靠的液沫滤除作用。由于系统设置的不同,当上升气流的液滴夹带量、液滴粒径的分布、允许的气体流动阻力等参数不同时,不仅可以经过计算选用不同参数的丝网除沫器,还可选择波纹板式除雾器、屋脊式除雾器、管束式除雾器等气液分离装置或组合,还可利用塔顶逐渐收窄的结构设置惯性式气液分离器。

[0057] 本实施例的填料层采用规整填料板和350Y孔板波纹填料。通过计算,采用最小理论板数即4层塔板,每层塔板的填料等效高度约0.3m,整个气液接触区的填料等效高度为1.2m。规整填料板具有结构紧凑、传质效率高、阻力小等优点,在投资允许时可优先选用。根据项目或设计需要也可选用散堆填料板、精馏塔板、浮法塔板等方案或组合使用这些方案,同样可通过仿真模拟计算确定具体的塔板参数。

[0058] 为了循环利用喷淋水,本实施例还设置有喷淋水循环装置,包括水泵5和第一余热交换器6,第一余热交换器6具有喷淋水入口601、喷淋水出口602、第一电堆循环水入口603、第一电堆循环水出口604。第一电堆循环水入口603和第一电堆循环水出口604连接至固定式燃料电池电站的电堆循环水系统,构成电堆循环水流程。其中第一电堆循环水入口603高于第一电堆循环水出口604设置、同时喷淋水出口602高于喷淋水入口601设置,构成逆流换热结构。具体地,可在第一余热交换器6内设置喷淋水蛇管,并将喷淋水蛇管浸没在电堆循环水中,实现换热结构。塔体1的底部构成储水槽103,水泵5的进口连接至储水槽103上设置的出水口105、水泵5的出口连接至喷淋水入口601;喷淋水出口602连接至喷淋装置3,构成喷淋水循环流程。喷淋装置3包括非雾化的滴淋头。

[0059] 来自电堆的循环水11的温度通常在 60°C 至 80°C ,从第一电堆循环水入口603进入第一余热交换器6,在余热交换中释放热量降温,并对喷淋循环水进行加热,之后返回电堆循环水系统。第一余热交换器6同时起到了喷淋循环水加热和电堆循环水冷却的作用,可以提高电站的能源利用效率。

[0060] 本实施例采用的非雾化的滴淋头,例如用于滴淋灌溉用的滴淋头。既可以满足气液充分接触的要求,同时不会产生大量的细小液滴,减少反应气体的液滴夹带量。通过多个滴淋头的布置,实现设计覆盖率150%-300%的滴淋加湿效果。

[0061] 设置于塔体底部的储水槽103一方面起到储水的作用,在系统运行时,还起到储热的作用。在系统稳定运行时,储水槽103内的水可以保持在 60°C 左右的温度,同时通过第一余热交换器6加热的喷淋装置3内的喷淋循环水温度也可维持在 60°C 或略高于 60°C ,从而实现对上升气流的加热,弥补加湿过程中因汽化吸热造成的反应气体温度的下降,实现加湿后反应气体10的温度为 55°C 的设定目标。储水槽103周围的塔体壁上可设置绝热层,进一步提高系统能源利用效率。还可将水泵3浸没在储水槽103中,进一步利用水泵3工作时产生的余热对储水槽103内的水进行加温,也可进一步提高系统能源利用效率。

[0062] 出水槽103内还浸没设置有电加热器7,用于加热储水槽103内的水;储水槽103还设置有补水口104,用于为储水槽103补水。储水槽103内可设置水位传感器,补水口104上可设置电磁阀,即可通过控制器简单地实现自动补水。电加热器7用于系统启动前和运行初期

将储水槽103内的水预热至60℃左右,使系统运行初期即可进入最佳工作状态,提高系统效率。同时在系统稳定运行过程中,利用电加热器7的响应速度来弥补第一余热交换器6响应速度慢的缺点,可以使系统更加准确地控制喷淋水和反应气体的温度,发挥储水槽103储热和缓冲的作用,比仅在喷淋水管道上设置加热器的技术方案增加了预热的功能,同时提高了水温控制的稳定性。

[0063] 电加热器7通过一PID控制器控温加热;所述PID控制器的输入信号为喷淋装置3内的喷淋循环水温度。PID控制器通过检测喷淋循环水的温度,以及该温度值对时间的微分和积分,即该温度的变化速率和变化过程,实现闭环控制,结合电加热器7的高响应速度,实现喷淋水和反应气体温度的实时准确控制。

[0064] 在其他一些实施例中,可以利用燃料电池电站的甲醇水重整制氢系统的燃烧器对储水槽103内的水进行加热。具体地,可在储水槽103内浸没设置燃烧尾气蛇管、在储水槽壁上设置燃烧尾气入口和燃烧尾气出口,燃烧尾气入口高于燃烧尾气出口设置,然后通过燃烧尾气入口和燃烧尾气进口将燃烧尾气蛇管串联或并联至所述燃烧器的燃烧尾气管路上。由于甲醇水重整制氢系统在启动前也需要进行预热,因此可以利用所述燃烧器对储水槽103内的水进行系统启动前的预热和系统启动后的加热。由于所述燃烧尾气的温度可达600℃,在对甲醇水重整器、甲醇水混合器等装置进行加热后的燃烧尾气温度仍可达300℃以上,足以用于对储水槽103内的水进行加热,以充分利用能源,但应对加热过程进行相应的控制,以防过度加热。

[0065] 在本实施例中,喷淋循环水从喷淋装置3喷淋至填料层2,经过加湿流程后水温从约60℃下降至约50℃。在没有设置第一余热交换器6的情况下,需要约2.5kW的电加热器功率才能持续维持喷淋装置3内的水温在60℃。而在通过第一余热交换器6利用电堆余热后,电加热器仅需用0至0.5kW的功率用于动态维持喷淋水水温,不仅节约了2kW以上的电能,而且实现了2kW以上的制冷功率,降低了燃料电池冷却系统的热负荷。

[0066] 实施例二:一种固定式燃料电池电站用加湿系统。

[0067] 如图2所示,本实施例在实施例一的基础上,储水槽103内还浸没设置有第二余热交换器8(图中仅示出其连接接口);第二余热交换器8具有第二电堆循环水入口801和第二电堆循环水出口802,第二电堆循环水入口801高于第二循环水出口802设置。第二余热交换器8和第一余热交换器6串联设置后连接至燃料电池电站的电堆循环水系统,即第二电堆循环水入口801和第一电堆循环水出口604相连、第二电堆循环水出口802和第一电堆循环水入口603连接至燃料电池电站的电堆循环水系统。

[0068] 本实施例的设置可以更好地利用电堆循环水系统的余热,特别是来自电堆的循环水11的水温较高时,可以仅利用电堆循环水系统的余热对喷淋循环水进行加热,而电加热器7仅用于预热。可在第一电堆循环水入口603处设置流量阀,以控制其流量,以防对喷淋循环水进行过度加热。第二余热交换器8还可与第一余热交换器6并联设置,即第二电堆循环水入口801和第一电堆循环水入口603连接、第二电堆循环水出口802和第一电堆循环水出口604连接,同样可以通过设置控制阀对水流进行控制,并实现比串联连接更加灵活的控制。例如在储水池103内的水温超过65℃时,可以关闭第二余热交换器8的供水,仅对第一余热交换器6适度供水;在储水池103的水温低于55℃时,或者电堆循环水温度不高时,可以同时第一余热交换器6和第二余热交换器8充分供水,使喷淋循环水的温度尽快升高。

[0069] 本实施例可在实施例一的基础上进一步提高系统能源利用效率。

[0070] 实施例三：一种固定式燃料电池电站用加湿系统控制方法。

[0071] 本实施例的控制方法用于控制实施例一的固定式燃料电池电站用加湿系统，包括步骤：

[0072] S1. 将电加热器7开至最大功率，将储水槽103内的水预热至60℃；

[0073] S2. 启动水泵5，并向燃料电池电站发送可以启动运行的消息；同时在燃料电池电站运行过程中，通过PID控制器控制电加热器7的功率来控制喷淋装置3内的喷淋循环水水温，目标温度为60℃。

[0074] PID控制器不仅根据喷淋装置3内喷淋循环水的水温，还根据该水温的变化趋势对电加热器7进行控制，可以实现更加平稳准确的控制。

[0075] 在温度控制要求不高的实施例中，也可不采用PID控制器，而用简单的控制方式实现。通过设定一个温度控制范围如58℃~62℃，在升温过程中，实际温度达到58℃即停止加热，由于系统惯性，实际温度会继续上升至超过62℃；在降温过程中，实际温度下降到62℃即开始加热，由于系统惯性，实际温度会继续下降至低于58℃。具体的温度控制范围可通过加热器功率、储水槽容积等参数确定，或可通过简单试验确定。

[0076] 实施例二所述的加湿系统也可通过类似的控制方法进行控制，还可加入对第一余热交换器和第二余热交换器的流量控制；在利用甲醇水重整制氢系统的燃烧尾气作为加热热源时，还可加入对燃烧尾气流量的控制，进一步提高系统效率。

[0077] 上述仅为本申请的较佳实施例及所运用的技术原理，在不脱离本申请构思的情况下，还可以进行各种明显的变化、重新调整和替代。本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本申请的其他优点和功效。本申请还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用，本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用，在没有背离本申请的精神的情况下进行各种修饰或改变。在不冲突的情况下，以上实施例及实施例中的特征可以相互组合。

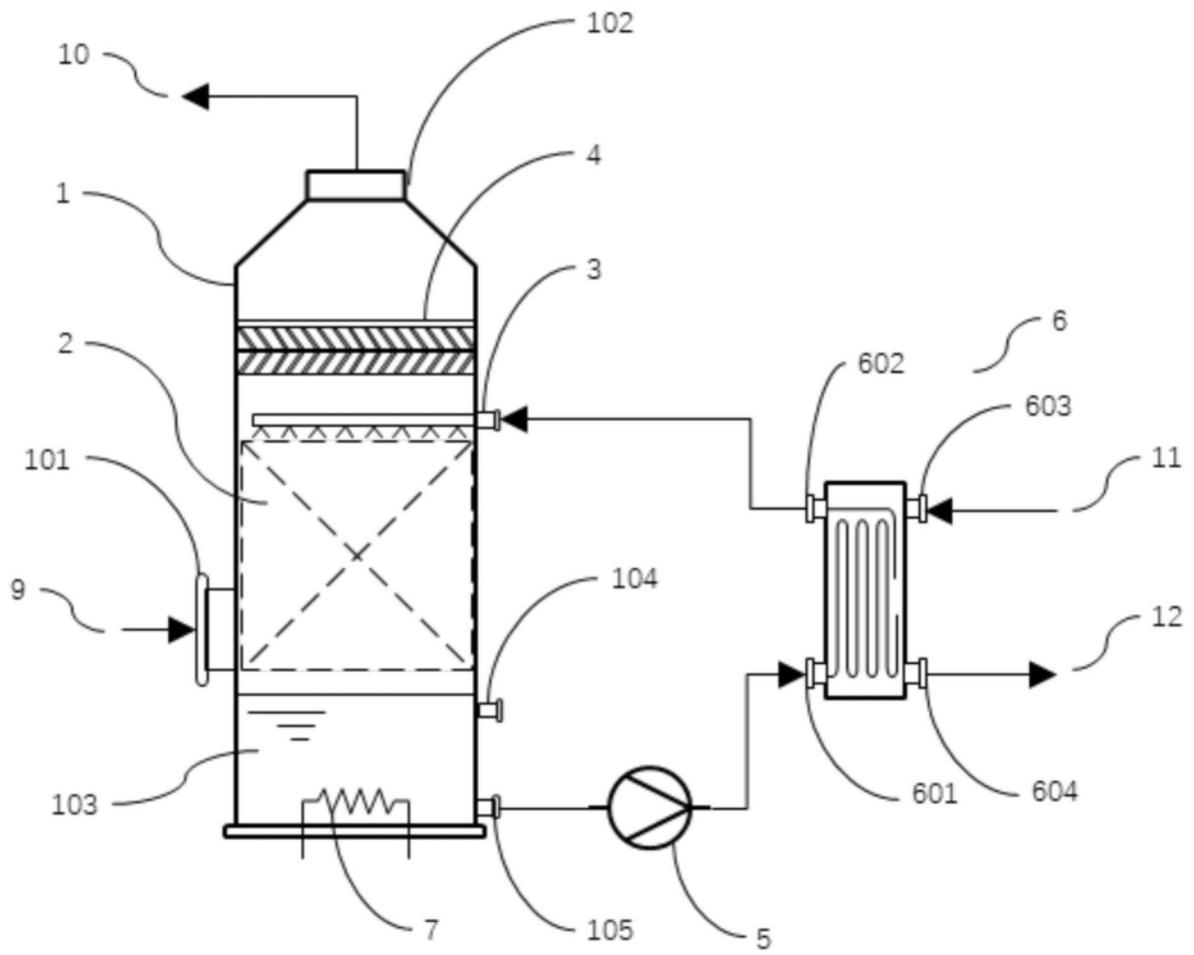


图1

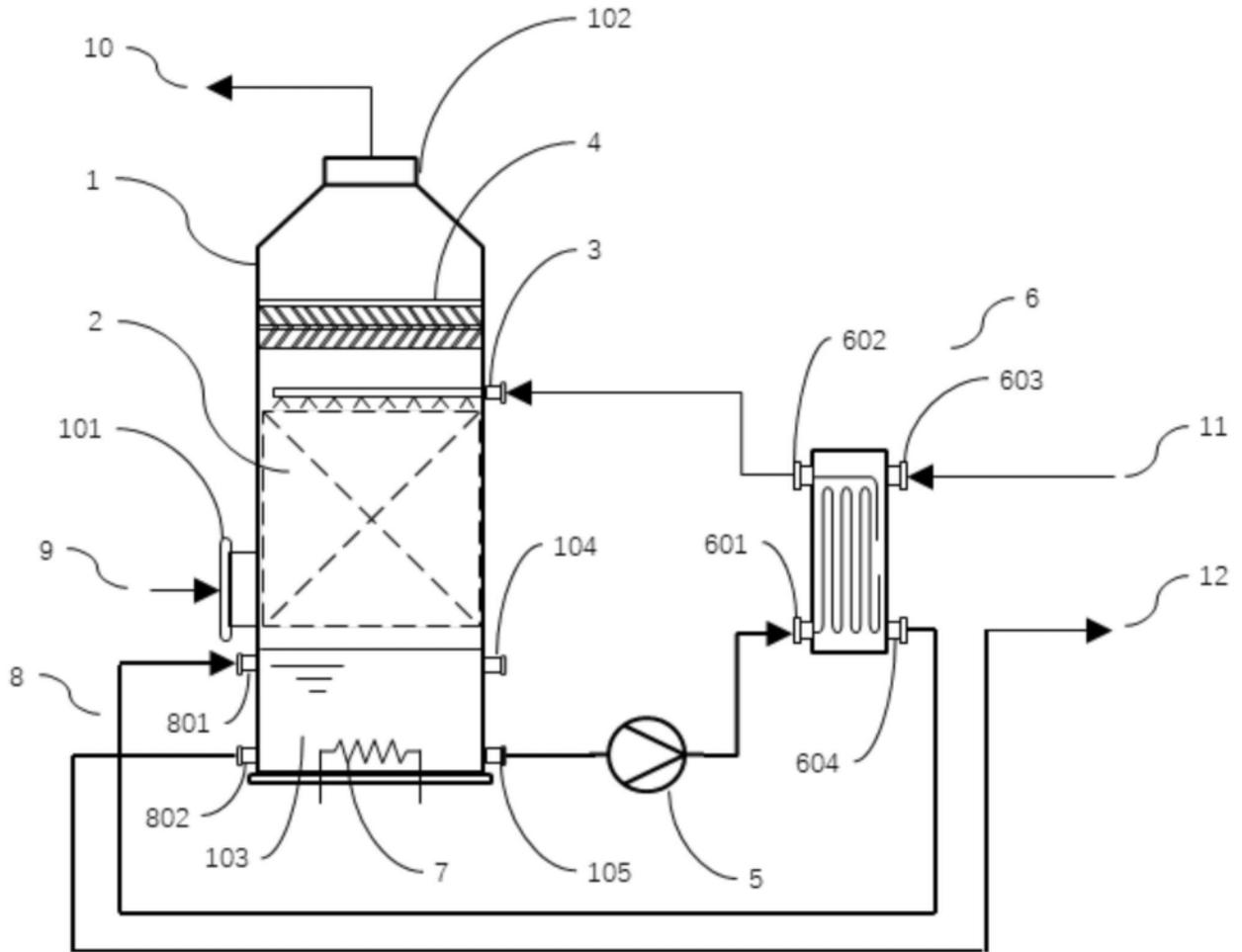


图2