



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104089294 A

(43) 申请公布日 2014. 10. 08

(21) 申请号 201410370414. 3

(22) 申请日 2014. 07. 31

(71) 申请人 青岛大学

地址 266071 山东省青岛市市南区宁夏路
308 号

(72) 发明人 田小亮 李晓花 孙晖 邵杰
任杰 刘瑞璟 王伟

(74) 专利代理机构 青岛高晓专利事务所 37104
代理人 黄晓敏

(51) Int. Cl.

F23J 15/06 (2006. 01)

F23L 15/00 (2006. 01)

F28D 15/02 (2006. 01)

F28F 27/02 (2006. 01)

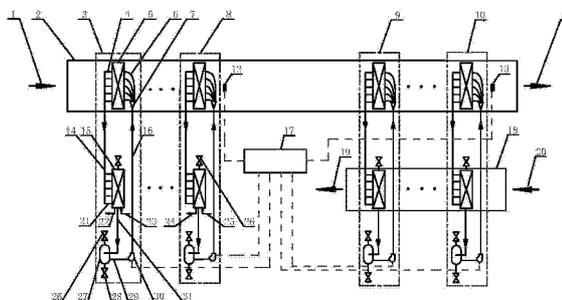
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种烟气余热回收利用方法

(57) 摘要

本发明属于能源回收利用工艺技术领域, 涉及一种烟气余热回收利用方法, 烟气依次通过第 1 个省煤器热管循环的热管蒸发器、第 2 个省煤器热管循环的热管蒸发器、...、第 n 个省煤器热管循环的热管蒸发器, 然后再通过第 1 个空气预热器热管循环的热管蒸发器、第 2 个空气预热器热管循环的热管蒸发器、...、第 m 个空气预热器热管循环的热管蒸发器, 其中 $1 \leq n \leq 10$, $1 \leq m \leq 10$; n+m 个热管蒸发器内热管工质吸收烟气余热后发生气液相变过程, 降低烟气温度, 实现烟气余热的高效回收利用; 其工艺过程简单, 原理科学可靠, 操作方便, 所用装置使用寿命长, 余热回收效率高, 环境友好, 可广泛用于工业生产中的余热回收利用。



1. 一种烟气余热回收利用方法,其特征在于在烟气余热回收装置中实现,其具体回收利用的过程是:烟气依次通过第1个省煤器热管循环的热管蒸发器、第2个省煤器热管循环的热管蒸发器、...、第n个省煤器热管循环的热管蒸发器,然后再通过第1个空气预热器热管循环的热管蒸发器、第2个空气预热器热管循环的热管蒸发器、...、第m个空气预热器热管循环的热管蒸发器,其中 $1 \leq n \leq 10, 1 \leq m \leq 10$;n+m个热管蒸发器内热管工质吸收烟气余热后发生气液相变过程,降低烟气温度,实现烟气余热的高效回收利用;每个热管的具体工作过程是:溶液泵通过输液管从多功能储液罐中抽取液体工质,提升压力后的液体工质由供液母管和均液管均匀地分配到热管蒸发器中,在热管蒸发器中的液体工质吸收烟气余热,发生液-气相变过程,转化为气液两相流后经气液收集管流入气液两相流母管,该气液两相流经气液分配管均匀分配到热管冷凝器中,气液两相流工质在热管冷凝器中将热量传递给被加热的水或空气后,完全冷凝为液体工质,该液体工质由冷凝器到多功能罐连管输送到多功能储液罐,多功能储液罐中的液体工质再次经输液管进入溶液泵,如此循环往复,连续不断地将烟气余热传递给被加热的水或空气,实现烟气余热的高效回收利用。

2. 根据权利要求1所述烟气余热回收利用方法,其特征在于所述烟气余热回收装置的主体结构包括烟气入口、烟道、省煤器用热管循环、气液收集管、热管蒸发器、均液管、分液器、空气预热器用热管循环、烟气出口、省煤器后温度传感器、空气预热器后温度传感器、气液两相流母管、热管冷凝器、供液母管、中央控制器、空气预热风道、空气出口、空气入口、气液分配管、省煤器加热水出口、省煤器加热水入口、排气阀、多功能储液罐、排污阀、输液管、溶液泵和连接管,按功能分为逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统、逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统和中央控制子系统;烟道的两端分别为烟气入口和烟气出口,n个省煤器用热管循环按照逆流结构形式布置构成逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统,m个空气预热器用热管循环按照逆流结构形式布置构成逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统,其中 $1 \leq n \leq 10, 1 \leq m \leq 10$;每个省煤器用热管循环和空气预热器用热管循环上端均设有安装在烟道内的热管蒸发器,每个热管蒸发器的两侧均分别设有气液收集管和均液管;气液收集管下端通过气液两相流母管与气流分配管相连通,气流分配管的一侧连接有与热管蒸发器对应的热管冷凝器,热管冷凝器的下端分别开制有省煤器加热水入口和省煤器加热水出口,相邻两个省煤器用热管循环之间通过第一个热管冷凝器的省煤器加热水出口和第二个热管冷凝器的省煤器加热水入口连通;均液管的下端设置有分液器,分液器通过供液母管与溶液泵连通;热管冷凝器通过连接管与多功能储液罐连通;热管冷凝器和多功能储液罐的上端均设有排气阀,多功能储液罐的下端设有排污阀;多功能储液罐和溶液泵之间通过输液管连通;m个空气预热器用热管循环的下端的热管冷凝器通过空气预热风道连通;空气预热风道的两端分别为空气入口和空气出口;逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统和逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统的后方分别设有省煤器后温度传感器和空气预热器后温度传感器,中央控制子系统通过中央控制器控制并获取省煤器后温度传感器和空气预热器后温度传感器测得的烟气温度。

3. 根据权利要求2所述烟气余热回收利用方法,其特征在于所述热管蒸发器和热管冷凝器的布管方式为水平式布管或垂直式布管。

4. 根据权利要求2所述烟气余热回收利用方法,其特征在于所述逆流复合式气液两相

流热管余热回收省煤器子系统中的逆流是指烟气是从第 1 个省煤器用热管循环的热管蒸发器流入,依次流过第 2 个、第 3 个,直到最后从第 n 个省煤器用热管循环的热管蒸发器流出,而被加热水是从第 n 个省煤器加热水入口流入,第 n 个省煤器加热水出口流出,依次流过第 n-1 个、第 n-2 个,最后从第 1 个省煤器加热水入口流入,第 1 个省煤器加热水出口流出,其中 $1 \leq n \leq 10$ 。

5. 根据权利要求 2 所述烟气余热回收利用方法,其特征在于所述逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统中的逆流是指烟气是从第 1 个空气预热器用热管循环的热管蒸发器流入,依次流过第 2 个、第 3 个,直到最后从第 m 个空气预热器用热管循环的热管蒸发器流出,而被加热的空气从第 m 个空气预热器用热管循环的热管冷凝器流入,依次流过第 m-1 个、第 m-2 个,最后从第 1 个空气预热器用热管循环的热管冷凝器流出,其中 $1 \leq m \leq 10$ 。

6. 根据权利要求 2 所述烟气余热回收利用方法,其特征在于所述中央控制子系统中央控制器通过对逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统溶液泵进行双位控制或变频连续控制,有效控制 n 个气液两相流热管余热回收省煤器子系统的工作状态,实现省煤器后烟气温度的合理控制,保证高效的能量回收;中央控制器通过对逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统溶液泵进行双位控制或变频连续控制,有效控制 m 个气液两相流热管余热回收空气预热器子系统的工作状态,实现空气预热器后烟气温度的合理控制,保证高效的能量回收,并有效避免酸腐蚀现象的发生,其中 $1 \leq n \leq 10$, $1 \leq m \leq 10$ 。

7. 根据权利要求 2 所述烟气余热回收利用方法,其特征在于烟气余热回收装置既能将逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统、逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统和中央控制三个子系统复合为一个总系统;也能单独将逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统和中央控制两个子系统复合为一个总系统;还能单独将逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统和中央控制两个子系统复合为一个总系统。

8. 根据权利要求 2 所述烟气余热回收利用方法,其特征在于所述多功能储液罐对动力型热管循环具有多重特殊功效,第一重功效为启动过程排气:多功能储液罐为圆柱体形状,从冷凝器来的液体工质沿多功能储液罐的切线方向进入多功能储液罐,通过离心力作用实现气液分离,在启动过程中系统内的非凝性气体便进入到多功能储液罐上部,通过排气阀顺利排出;第二重功效为运行过程定期排气,保证热管长期高效运行:多功能储液罐将产生的部分气体聚集在多功能储液罐顶部,通过定期排气来保证热管循环长期高效运行;第三重功效为排污:系统中的各种杂质通过循环过程都会沉积在多功能储液罐底部,通过排污阀将各种杂质及时排出,保证系统长期稳定运行。

9. 根据权利要求 2 所述烟气余热回收利用方法,其特征在于所述逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统、逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统的热管循环内的各蒸发器与冷凝器的安装高度不受限制,只要各自的多功能储液罐低于热管发器和热管冷凝器,保证冷凝液能够顺利回流到相应的多功能储液罐,便能正常工作;若出现部分热管发器或热管冷凝器必须安装在相应储液罐下部的情况,在该热管发器或热管冷凝器下部加装一个小型储液罐和一个回流溶液泵即可。

一种烟气余热回收利用方法

技术领域：

[0001] 本发明属于能源回收利用工艺技术领域，涉及一种烟气余热回收利用方法，特别是涉及一种将动力型热管应用于对锅炉（窑炉或各种工业生产过程）产生的烟气余热进行高效回收利用的方法。

背景技术：

[0002] 能源的高效利用与节能环保已成为决定人类社会能否长期可持续快速发展的关键问题，正日益受到人们的重视，而如何利用好锅炉（窑炉或各种工业生产过程）的烟气余热，对解决能源的高效利用与节能环保问题具有十分重要的意义。从总体上看，目前我国锅炉或窑炉的能源利用效率低，能源经济效益差，能源利用系统的技术和管理落后的局面没有得到根本转变，比国外先进国家规模经济效益差。很多产品的单位能耗与发达国家相比差距很大，如钢铁、发电、建材、化工等行业的主要工业产品单位能耗高出 20% -80%，有很大的节能潜力。钢铁、发电、建材、化工、轻纺和机械等主要耗能工业的余热利用率仅为 4% -5%，工业锅炉和窑炉的热效率为 70% 左右。因此，依靠科技进步，利用现代技术，改造工业锅炉及窑炉，提高热效率，首先应减少余热排空，同时提高隔热、绝热、保温性能。

[0003] 目前，锅炉（窑炉或各种工业生产过程）产生的烟气余热回收主要是通过利用水的显热来回收余热的省煤器和通过利用空气的显热来回收余热的空气预热器，其中利用水的显热来回收烟气余热的省煤器水流量大，水泵耗电多，换热系数低，经济性差；而且，只要有一根水管破裂，就会影响锅炉（窑炉或各种工业生产过程）的正常运行，存在安全隐患；此外，当进口水温较低时，常出现部分省煤器管道低于酸露点温度而造成管道酸腐蚀现象；利用空气显热来回收余热的空气预热器的主要缺点是：无论是间壁式空气预热器，还是回转式空气预热器，空气通道和烟气通道必须紧连在一起，工程布置难度大，还存在空气与烟气互混等现象；而且，由于气气换热系数低，换热器庞大，使烟道也很庞大；此外，当进口空气温度较低时，常出现空气预热器低于酸露点温度而造成的换热器腐蚀现象。为解决利用水的显热回收余热的省煤器和利用空气的显热回收余热的空气预热器存在的上述问题，出现了热管省煤器和热管空气预热器，现有的热管省煤器和热管空气预热器应用的都是重力式热管，由几十、几百乃至几千根热管构成热管省煤器或热管空气预热器，这种热管省煤器或热管空气预热器较利用水的显热回收余热的省煤器和利用空气的显热回收余热的空气预热器提高了部分换热效率，减小了换热面积，但仍存在许多不足，水路与烟道、被加热的空气与烟道还是必须紧连在一起，工程布置难度大；几十、几百乃至几千根热管紧密布置，不易于检修，也难以发现哪根热管已失效；几十、几百乃至几千根热管的工作工况各不相同，整体换热量无法控制，排烟温度也无法控制，同样难以避免出现酸露点而造成管道或换热器的腐蚀现象。

发明内容：

[0004] 本发明的目的在于克服现有技术存在的缺点，寻求设计提供一种烟气余热回收利

用方法,实现烟气余热的高效回收利用,解决现有技术中烟气余热回收利用时存在的问题。

[0005] 为了实现上述目的,本发明在烟气余热回收装置中实现,其具体回收利用的过程是:烟气依次通过第1个省煤器热管循环的热管蒸发器、第2个省煤器热管循环的热管蒸发器、...、第n个省煤器热管循环的热管蒸发器,然后再通过第1个空气预热器热管循环的热管蒸发器、第2个空气预热器热管循环的热管蒸发器、...、第m个空气预热器热管循环的热管蒸发器,其中 $1 \leq n \leq 10, 1 \leq m \leq 10$;n+m个热管蒸发器内热管工质吸收烟气余热后发生气液相变过程,降低烟气温度,实现烟气余热的高效回收利用;每个热管的具体工作过程是:溶液泵通过输液管从多功能储液罐中抽取液体工质,提升压力后的液体工质由供液母管和均液管均匀地分配到热管蒸发器中,在热管蒸发器中的液体工质吸收烟气余热,发生液-气相变过程,转化为气液两相流后经气液收集管流入气液两相流母管,该气液两相流经气液分配管均匀分配到热管冷凝器中,气液两相流工质在热管冷凝器中将热量传递给被加热的水或空气后,完全冷凝为液体工质,该液体工质由冷凝器到多功能罐连管输送到多功能储液罐,多功能储液罐中的液体工质再次经输液管进入溶液泵,如此循环往复,连续不断地将烟气余热传递给被加热的水或空气,实现烟气余热的高效回收利用。

[0006] 本发明所述烟气余热回收利用装置的主体结构包括烟气入口、烟道、省煤器用热管循环、气液收集管、热管蒸发器、均液管、分液器、空气预热器用热管循环、烟气出口、省煤器后温度传感器、空气预热器后温度传感器、气液两相流母管、热管冷凝器、供液母管、中央控制器、空气预热风道、空气出口、空气入口、气液分配管、省煤器加热水出口、省煤器加热水入口、排气阀、多功能储液罐、排污阀、输液管、溶液泵和连接管,按功能分为逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统、逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统和中央控制子系统;烟道的两端分别为烟气入口和烟气出口,n($1 \leq n \leq 10$)个省煤器用热管循环按照逆流结构形式布置构成逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统,m($1 \leq m \leq 10$)个空气预热器用热管循环按照逆流结构形式布置构成逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统,每个省煤器用热管循环和空气预热器用热管循环上端均设有安装在烟道内的热管蒸发器,每个热管蒸发器的两侧均分别设有气液收集管和均液管;气液收集管下端通过气液两相流母管与气流分配管相连通,气流分配管的一侧连接有与热管蒸发器对应的热管冷凝器,热管冷凝器的下端分别开制有省煤器加热水入口和省煤器加热水出口,相邻两个省煤器用热管循环之间通过第一个热管冷凝器的省煤器加热水出口和第二个热管冷凝器的省煤器加热水入口连通;均液管的下端设置有分液器,分液器通过供液母管与溶液泵连通;热管冷凝器通过连接管与多功能储液罐连通;热管冷凝器和多功能储液罐的上端均设有排气阀,多功能储液罐的下端设有排污阀;多功能储液罐和溶液泵之间通过输液管连通;m个空气预热器用热管循环的下端的热管冷凝器通过空气预热风道连通;空气预热风道的两端分别为空气入口和空气出口;逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统和逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统的后方分别设有省煤器后温度传感器和空气预热器后温度传感器,中央控制子系统通过中央控制器控制并获取省煤器后温度传感器和空气预热器后温度传感器测得的烟气温度。

[0007] 本发明所述逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统中的逆流是指烟气是从第1个省煤器用热管循环的热管蒸发器流入,依次流过第2个、第3个,直到最后从第n个省煤器用热管循环的热管蒸发器流出,而被加热的水是从第n个省煤器加热水入口

流入,第 n 个省煤器加热水出口流出,依次流过第 n-1 个、第 n-2 个,最后从第 1 个省煤器加热水入口流入,第 1 个省煤器加热水出口流出,这种逆向流动,使烟气与水之间形成最大换热温差,减小换热面积,提高换热效率,使热力学不可逆损失达到最小。

[0008] 本发明所述逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统系统中的逆流是指烟气是从第 1 个空气预热器用热管循环的热管蒸发器流入,依次流过第 2 个、第 3 个,直到最后从第 m 个空气预热器用热管循环的热管蒸发器流出,而被加热的空气从第 m 个空气预热器用热管循环的热管冷凝器流入,依次流过第 m-1 个、第 m-2 个,最后从第 1 个空气预热器用热管循环的热管冷凝器流出,这种逆向流动使烟气与空气之间形成最大换热温差,减小换热面积,提高换热效率,使热力学不可逆损失达到最小。

[0009] 本发明所述中央控制子系统系统中的中央控制器通过对逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统系统中的溶液泵进行双位控制或变频连续控制,有效控制 n 个气液两相流热管余热回收省煤器子系统的工作状态,实现省煤器后烟气温度的合理控制,保证高效的能量回收;中央控制器通过逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统系统中的溶液泵进行双位控制或变频连续控制,有效控制 m 个气液两相流热管余热回收空气预热器子系统的工作状态,实现空气预热器后烟气温度的合理控制,保证高效的能量回收,并有效避免酸腐蚀现象的发生。

[0010] 本发明既能将逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统、逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统和中央控制三个子系统复合为一个总系统;也能单独将逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统和中央控制两个子系统复合为一个总系统;还能单独将逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统和中央控制两个子系统复合为一个总系统,根据烟气温度高低和用户的供热需求确定采用哪一种系统。

[0011] 本发明中的余热回收热管省煤器子系统与余热回收热管空气预热器子系统在烟道中的前后位置,能根据用户需求而灵活设计,当用户需要较高温度的热水、较低温度的热空气时,采用 n 个逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统在前,m 个逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统在后的布置方案;当用户需要的热水、热空气温度接近时,采用 n 个逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统与 m 个逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统交替排列的布置方案;当用户需要较高温度的热空气、较低温度的热水时,采用 m 个逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统在前,n 个逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统在后的布置方案。

[0012] 本发明所述多功能储液罐对动力型热管循环具有多重特殊功效,第一重功效为启动过程排气:多功能储液罐为圆柱体形状,从冷凝器来的液体工质沿多功能储液罐的切线方向进入多功能储液罐,通过离心力作用实现气液分离,在启动过程中系统内的非凝性气体便进入到多功能储液罐上部,通过排气阀顺利排出;第二重功效为运行过程定期排气,保证热管长期高效运行:多功能储液罐将产生的部分气体聚集在多功能储液罐顶部,通过定期排气来保证热管循环长期高效运行;第三重功效为排污:系统中的各种杂质通过循环过程都会沉积在多功能储液罐底部,通过排污阀将各种杂质及时排出,保证系统长期稳定运行。

[0013] 本发明所述逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统、逆流复合式气液

两相流热管余热回收空气预热器子系统的热管循环内的各蒸发器与冷凝器的安装高度不受限制,只要各自的多功能储液罐低于热管发器和热管冷凝器,保证冷凝液能够顺利回流到相应的多功能储液罐,便能正常工作;若出现部分热管发器或热管冷凝器必须安装在相应储液罐下部的情况,在该热管发器或热管冷凝器下部加装一个小型储液罐和一个回流溶液泵即可,能根据用户实际情况进行灵活设计。

[0014] 本发明所述热管蒸发器和热管冷凝器的布管方式为水平式布管或垂直式布管,具体采用哪种方式根据现场实际情况来确定。

[0015] 本发明与现有技术,相比具有以下优点:一是热管子系统利用潜热来运输能量,其循环量较显热运输小 2-3 个数量级,彻底解决因水流量大、水泵耗电多、换热系数低而引起的经济性差等问题;二是热管子系统的蒸发器与冷凝器是相互独立布置的,热管子系统中的热管工质量很小,即使烟道中的热管蒸发器出现管道破裂,也不会影响锅炉(窑炉或各种工业生产过程)的正常运行,彻底避免因水管破裂而影响锅炉(窑炉或各种工业生产过程)的运行的安全隐患;三是热管子系统可通过蒸发器与冷凝器的特殊设计使热管内循环工质温度较接近于烟气温度,再通过中央控制子系统对出口烟气严格控温,有效避免管道低于酸露点温度而造成管道腐蚀现象;四是热管蒸发器与热管冷凝器可根据现场需要随意布置,彻底解决原有空气预热器中空气通道和烟气通道必须紧连在一起,工程布置难度大的问题,也避免空气与烟气互混等现象;五是热管子系统可通过蒸发器与冷凝器的特殊设计使热管内循环工质温度较接近于烟气温度,再通过中央控制子系统对出口烟气严格控温,有效避免换热器低于酸露点温度而造成换热器腐蚀现象;六是热管蒸发器与热管冷凝器可根据现场需要随意布置,彻底解决现有技术中水路与烟道、被加热的空气与烟道仍然必须紧连在一起,工程布置难度大等问题;七是热管子系统的总数量为 2-20 个,远少于目前应用的重力式系统的几十、几百乃至几千根热管,解决几十、几百乃至几千根热管紧密布置,不易于检修,难以发现哪根热管已失效等问题;八是每个热管子系统都可通过控制溶液泵来调节其换热量,彻底解决原来几十、几百乃至几千根热管的工作工况各不相同,整体换热量无法控制,排烟温度也无法控制,难以避免出现酸露点而造成管道腐蚀现象等问题;其工艺过程简单,原理科学可靠,操作方便,所用装置使用寿命长,余热回收效率高,环境友好,可广泛用于工业生产中的余热回收利用。

附图说明:

[0016] 图 1 为本发明实施例 1 的流程结构原理示意图。

[0017] 图 2 为本发明实施例 2 的流程结构原理示意图。

[0018] 图 3 为本发明实施例 3 的流程结构原理示意图。

[0019] 图 4 为本发明实施例 4 的流程结构原理示意图。

具体实施方式:

[0020] 下面通过实施例并结合附图作进一步说明。

[0021] 实施例 1:

[0022] 本实施例所述烟气余热回收利用装置的主体结构包括烟气入口 1、烟道 2、第 1 个省煤器用热管循环 3、气液收集管 4、热管蒸发器 5、均液管 6、分液器 7、第 n 个省煤器用热管

循环 8、第 1 个空气预热器用热管循环 9、第 m 个空气预热器用热管循环 10、烟气出口 11、省煤器后温度传感器 12、空气预热器后温度传感器 13、气液两相流母管 14、热管冷凝器 15、供液母管 16、中央控制器 17、空气预热风道 18、空气出口 19、空气入口 20、气液分配管 21、第 1 个省煤器加热水出口 22、第 1 个省煤器加热水入口 23、第 n 个省煤器加热水出口 24、第 n 个省煤器加热水入口 25、排气阀 26、多功能储液罐 27、排污阀 28、输液管 29、溶液泵 30 和连接管 31,按功能分为逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统、逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统和中央控制子系统;烟道 2 的两端分别为烟气入口 1 和烟气出口 11, $n(1 \leq n \leq 10)$ 个省煤器用热管循环按照逆流结构形式布置构成逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统, $m(1 \leq m \leq 10)$ 个空气预热器用热管循环按照逆流结构形式布置构成逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统,每个省煤器用热管循环和空气预热器用热管循环上端均设有安装在烟道 2 内的热管蒸发器 5,每个热管蒸发器 5 的两侧均分别设有气液收集管 4 和均液管 5;气液收集管 4 下端通过气液两相流母管 14 与气流分配管 21 相连通,气流分配管 21 的一侧连接有与热管蒸发器 5 对应的热管冷凝器 15,热管冷凝器 15 的下端分别开制有省煤器加热水入口和省煤器加热水出口,相邻两个省煤器用热管循环之间通过第一个热管冷凝器的省煤器加热水出口和第二个热管冷凝器的省煤器加热水入口连通;均液管 6 的下端设置有分液器 7,分液器 7 通过供液母管 16 与溶液泵 30 连通;热管冷凝器 15 通过连接管 31 与多功能储液罐 27 连通;热管冷凝器 15 和多功能储液罐 27 的上端均设有排气阀 26,多功能储液罐 27 的下端设有排污阀 28;多功能储液罐 27 和溶液泵 30 之间通过输液管 29 连通; m 个空气预热器用热管循环的下端的热管冷凝器通过空气预热风道 18 连通;空气预热风道 18 的两端分别为空气入口 20 和空气出口 19;逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统和逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统的后方分别设有省煤器后温度传感器 12 和空气预热器后温度传感器 13,中央控制子系统通过中央控制器 17 控制并获取省煤器后温度传感器 12 和空气预热器后温度传感器 13 测得的烟气温度。

[0023] 本实施例实现烟气余热回收利用的过程是:烟气依次通过第 1 个省煤器热管循环 3 的热管蒸发器、第 2 个省煤器热管循环的热管蒸发器、...、第 n 个省煤器热管循环 8 的热管蒸发器,然后再通过第 1 个空气预热器热管循环 9 的热管蒸发器、第 2 个空气预热器热管循环的热管蒸发器、...、第 m 个空气预热器热管循环 10 的热管蒸发器, $n+m$ 个热管蒸发器内热管工质吸收烟气余热后发生气液相变过程,降低烟气温度,实现烟气余热的高效回收利用;每个热管的具体工作过程是:溶液泵 30 通过输液管 29 从多功能储液罐 27 中抽取液体工质,提升压力后的液体工质由供液母管 16 和均液管 6 均匀地分配到热管蒸发器 5 中,在热管蒸发器 5 中的液体工质吸收烟气余热,发生液-气相变过程,转化为气液两相流后经气液收集管 4 流入气液两相流母管 14,该气液两相流经气液分配管 21 均匀分配到热管冷凝器 15 中,气液两相流工质在热管冷凝器 15 中将热量传递给被加热的水或空气后,完全冷凝为液体工质,该液体工质由冷凝器到多功能罐连管 31 输送到多功能储液罐 27,多功能储液罐 27 中的液体工质再次经输液管 29 进入溶液泵,如此循环往复,连续不断地将烟气余热传递给被加热的水或空气,实现烟气余热的高效回收利用。

[0024] 本实施例所述逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统中的逆流是指烟气是从第 1 个省煤器用热管循环的热管蒸发器流入,依次流过第 2 个、第 3 个,直到最后

从第 n 个省煤器用热管循环的热管蒸发器流出,而被加热的水是从第 n 个省煤器加热水入口 25 流入,加热水出口 24 流出,依次流过第 $n-1$ 个、第 $n-2$ 个,最后从第 1 个省煤器加热水入口 23 流入,加热水出口 22 流出,这种逆向流动,使烟气与水之间形成最大换热温差,减小换热面积,提高换热效率,使热力学不可逆损失达到最小。

[0025] 本实施例所述逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统中的逆流是指烟气是从第 1 个空气预热器用热管循环的热管蒸发器流入,依次流过第 2 个、第 3 个,直到最后从第 m 个空气预热器用热管循环的热管蒸发器流出,而被加热的空气从第 m 个空气预热器用热管循环的热管冷凝器流入,依次流过第 $m-1$ 个、第 $m-2$ 个,最后从第 1 个空气预热器用热管循环的热管冷凝器流出,这种逆向流动使烟气与空气之间形成最大换热温差,减小换热面积,提高换热效率,使热力学不可逆损失达到最小。

[0026] 本实施例所述中央控制子系统中央控制器 17 通过对逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统溶液泵 30 进行双位控制或变频连续控制,有效控制 n 个气液两相流热管余热回收省煤器子系统的工作状态,实现省煤器后烟气温度的合理控制,保证高效的能量回收;中央控制器 17 通过对逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统溶液泵进行双位控制或变频连续控制,有效控制 m 个气液两相流热管余热回收空气预热器子系统的工作状态,实现空气预热器后烟气温度的合理控制,保证能量的高效回收,并有效避免酸腐蚀现象的发生。

[0027] 本实施例实现烟气余热回收利用的启动与运行过程如下:先按图 1 所示结构原理组合安装成烟气余热回收利用系统装置,先对每个热管循环管路内部进行吹污清理,再对每个热管循环管路内部进行物理化学方法钝化处理,处理完毕后,将 n 个省煤器热管循环和 m 个空气预热器用热管循环都抽空,真空达标后,分别加入适量的热管工质;将中央控制子系统中的省煤器后的烟气温度和空气预热器后的烟气温度设定具体数值,在烟道中送入烟气、空气预热器中送入空气、省煤器中形成水循环后,中央控制子系统将根据省煤器后的烟气温度和空气预热器后的烟气温度的实际数值,与设定的具体数值进行比较,按照选定的控制方法,启动和控制 n 个省煤器热管循环和 m 个空气预热器用热管循环的溶液泵 30;再待 50-100 分钟后,系统中省煤器后的烟气温度和空气预热器后的烟气温度将达到设定值,整个系统即处于稳定工作阶段,如此便可连续不断、高效节能地将烟气余热回收利用,为用户提供高温热水和高温热空气。

[0028] 实施例 2:

[0029] 本实施例采用实施例 1 中所述逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统和中央控制子系统构成的烟气余热回收利用装置进行余热回收,烟气依次通过第 1 个省煤器热管循环 3 的热管蒸发器、第 2 个省煤器热管循环的热管蒸发器、...、第 n 个省煤器热管循环 8 的热管蒸发器, n 个热管蒸发器内热管工质吸收烟气余热后发生气液相变过程,降低烟气温度,实现烟气余热的高效回收利用;每个热管的具体工作过程是:溶液泵 30 通过输液管 29 从多功能储液罐 27 中抽取液体工质,提升压力后的液体工质由供液母管 16 和均液管 6 均匀地分配到热管蒸发器 5 中,在热管蒸发器 5 中的液体工质吸收烟气余热,发生液-气相变过程,转化为气液两相流后经气液收集管 4 流入气液两相流母管 14,该气液两相流经气液分配管 21 均匀分配到热管冷凝器 15 中,气液两相流工质在热管冷凝器 15 中将热量传递给被加热的水后,完全冷凝为液体工质,该液体工质由冷凝器到多功能罐连管 31 输

送到多功能储液罐 27, 多功能储液罐 27 中的液体工质再次经输液管 29 进入溶液泵, 如此循环往复, 连续不断地将烟气余热传递给被加热的水或空气, 实现烟气余热的高效回收利用。

[0030] 实施例 3:

[0031] 本实施例采用实施例 1 中所述逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统和中央控制子系统构成的烟气余热回收利用装置进行余热回收, 烟气依次通过第 1 个空气预热器热管循环 9 的热管蒸发器、第 2 个空气预热器热管循环的热管蒸发器、...、第 m 个空气预热器热管循环 10 的热管蒸发器, m 个热管蒸发器内热管工质吸收烟气余热后发生气液相变过程, 降低烟气温度, 实现烟气余热的高效回收利用; 每个热管的具体工作过程是: 溶液泵 30 通过输液管 29 从多功能储液罐 27 中抽取液体工质, 提升压力后的液体工质由供液母管 16 和均液管 6 均匀地分配到热管蒸发器 5 中, 在热管蒸发器 5 中的液体工质吸收烟气余热, 发生液-气相变过程, 转化为气液两相流后经气液收集管 4 流入气液两相流母管 14, 该气液两相流经气液分配管 21 均匀分配到热管冷凝器 15 中, 气液两相流工质在热管冷凝器 15 中将热量传递给被加热的空气后, 完全冷凝为液体工质, 该液体工质由冷凝器到多功能罐连管 31 输送到多功能储液罐 27, 多功能储液罐 27 中的液体工质再次经输液管 29 进入溶液泵, 如此循环往复, 连续不断地将烟气余热传递给被加热的水或空气, 实现烟气余热的高效回收利用。

[0032] 实施例 4:

[0033] 本实施例采用实施例 1 所述逆流复合式气液两相流热管余热回收省煤器子系统和逆流复合式气液两相流热管余热回收空气预热器子系统交替布置构成的烟气余热回收利用装置进行余热回收, 烟气依次通过第 1 个省煤器热管循环 3 的热管蒸发器、第 1 个空气预热器热管循环 9 的热管蒸发器、第 2 个省煤器热管循环的热管蒸发器、第 2 个空气预热器热管循环的热管蒸发器...、第 n 个省煤器热管循环 8 的热管蒸发器、第 m 个空气预热器热管循环 10 的热管蒸发器 ($n = m$), $n+m$ 个热管蒸发器内热管工质吸收烟气余热后发生气液相变过程, 降低烟气温度, 实现烟气余热的高效回收利用; 每个热管的具体工作过程是: 溶液泵 30 通过输液管 29 从多功能储液罐 27 中抽取液体工质, 提升压力后的液体工质由供液母管 16 和均液管 6 均匀地分配到热管蒸发器 5 中, 在热管蒸发器 5 中的液体工质吸收烟气余热, 发生液-气相变过程, 转化为气液两相流后经气液收集管 4 流入气液两相流母管 14, 该气液两相流经气液分配管 21 均匀分配到热管冷凝器 15 中, 气液两相流工质在热管冷凝器 15 中将热量传递给被加热的水或空气后, 完全冷凝为液体工质, 该液体工质由冷凝器到多功能罐连管 31 输送到多功能储液罐 27, 多功能储液罐 27 中的液体工质再次经输液管 29 进入溶液泵, 如此循环往复, 连续不断地将烟气余热传递给被加热的水或空气, 实现烟气余热的高效回收利用。

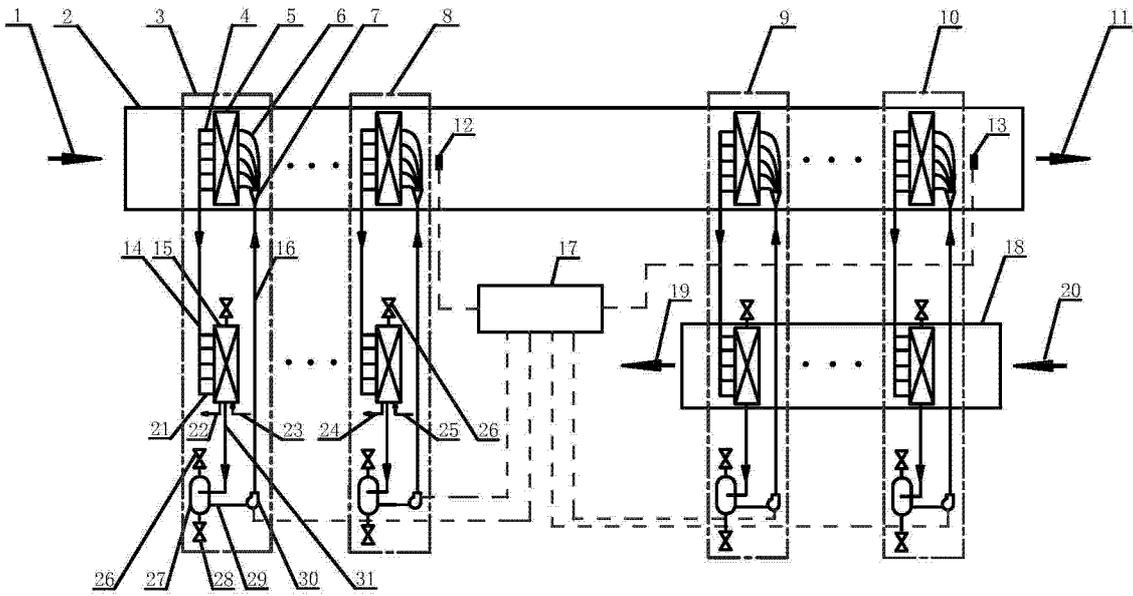


图 1

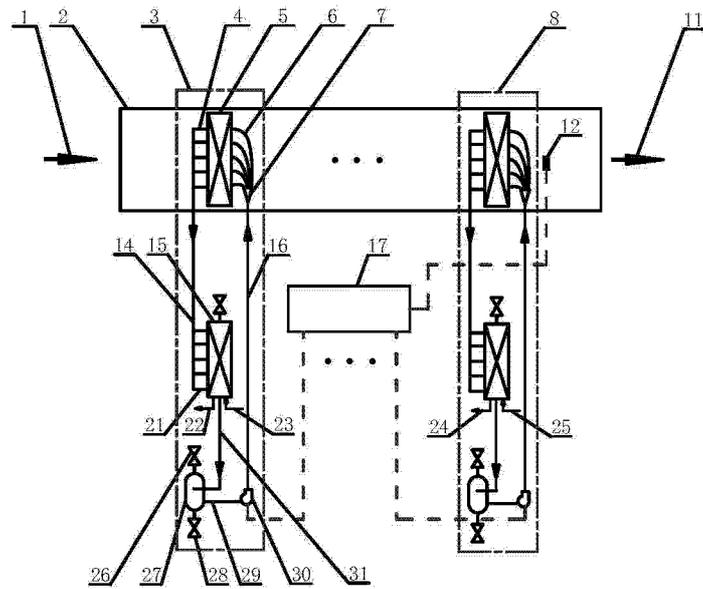


图 2

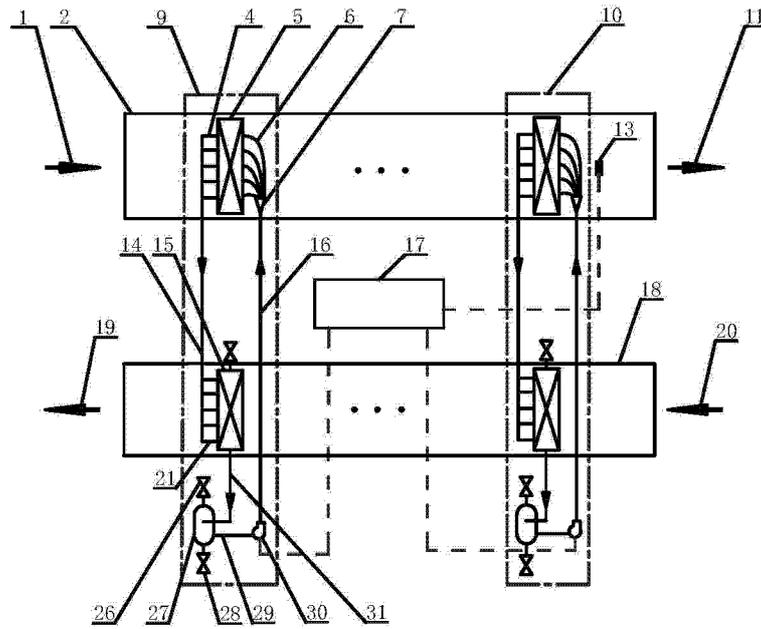


图 3

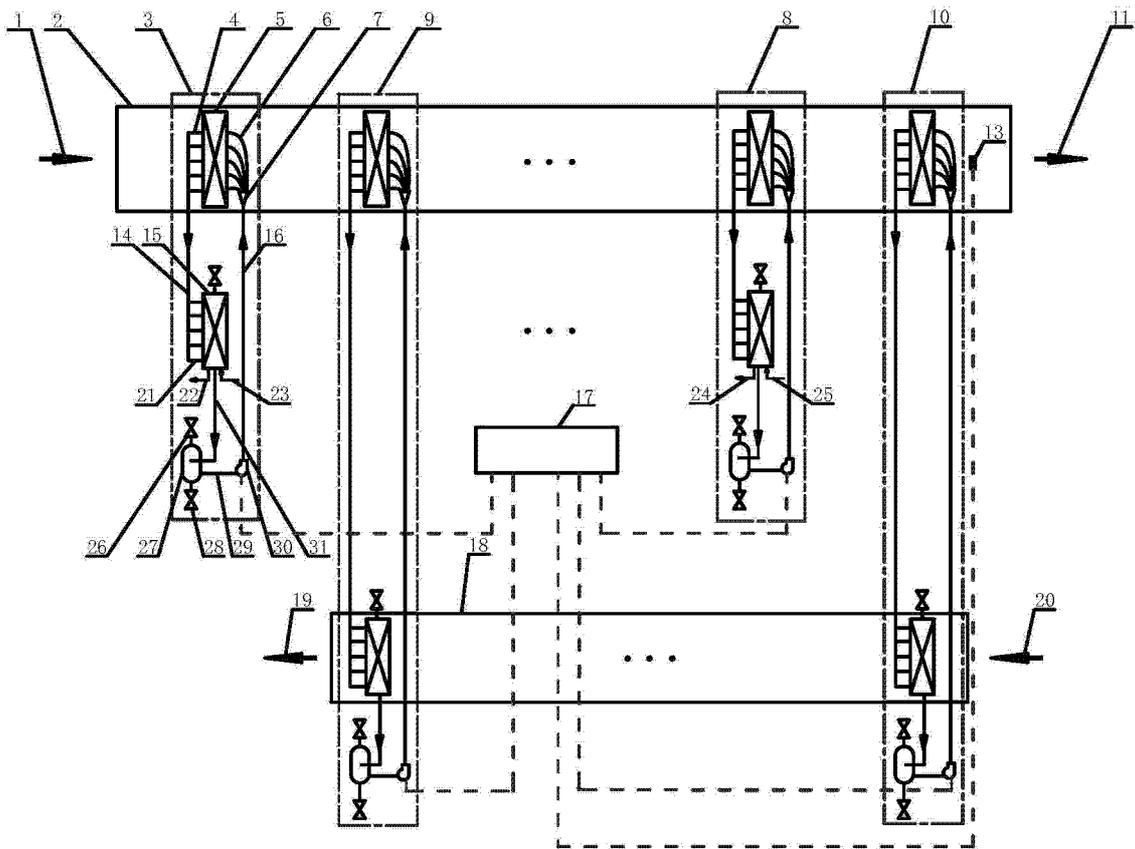


图 4