



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110748912 A

(43)申请公布日 2020.02.04

(21)申请号 201810819757.1

(22)申请日 2018.07.24

(71)申请人 青岛科技大学

地址 266000 山东省青岛市市北区郑州路  
53号

(72)发明人 王逸隆 马军 江程 李言伟  
连根款

(74)专利代理机构 青岛中天汇智知识产权代理  
有限公司 37241

代理人 郝团代

(51)Int.Cl.

F23L 15/04(2006.01)

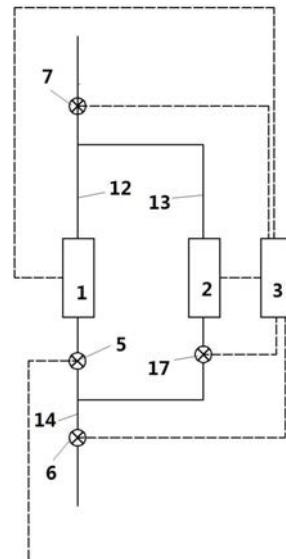
权利要求书1页 说明书13页 附图8页

(54)发明名称

基于烟温通信控制阀门的电站锅炉余热利  
用系统

(57)摘要

本发明提供了一种智能控制利用余热的电  
站锅炉余热利用系统，所述系统包括空气预热器  
和储热器，上游阀门上游的烟道中设置第四温度  
传感器，第四温度传感器用于检测烟道中烟气温  
度，所述第四温度传感器与中央控制器进行数据  
连接，中央控制器根据第四温度传感器检测的数  
据来控制上游阀门、下游阀门的开闭。本发明通  
过上述的运行，可以在有烟气温度满足要求的时  
候，在满足空气预热器产生的预热的空气量的情  
况下，将多余的热量存储在储热器中，在没有烟  
气余热的情况下，利用烟气余热存储的热量来加  
热空气预热器，以满足空气预热器的实际工作需  
求。这样可以充分利用烟气余热，避免过多的热  
量的浪费。



1. 一种电站锅炉余热利用系统，所述系统包括空气预热器和储热器，所述空气预热器设置在烟道的主管道上，所述储热器设置在副管道上，所述主管道和副管道形成并联管路，烟道中的烟气分别进入主管道和副管道的空气预热器和储热器，在空气预热器中产生蒸汽，在储热器中进行储热，在空气预热器和储热器中换热后的烟气再汇流进入烟道；

所述系统包括上游阀门和下游阀门，上游阀门设置在空气预热器和储热器上游的烟道上，下游阀门设置在空气预热器和储热器下游的烟道上，所述系统还包括中央控制器，所述中央控制器与上游阀门和下游阀门进行数据连接；所述上游阀门上游的烟道中设置第四温度传感器，第四温度传感器用于检测烟道中烟气温度，所述第四温度传感器与中央控制器进行数据连接，中央控制器根据第四温度传感器检测的数据来控制上游阀门、下游阀门的开闭。

2. 如权利要求1所述的余热利用系统，其特征在于，中央控制器检测到烟道有温度超过一定温度的时候，中央控制器控制上游阀门、下游阀门是打开状态，烟气进入空气预热器和储热器，换热完成后进行排烟；中央控制器检测到烟道烟气温度低于一定温度的时候，中央控制器控制上游阀门、下游阀门关闭，空气预热器和储热器所在的管路形成一个循环管路。作为优选，当烟气传感器检测到超过一定温度的时候，中央控制器控制旁通阀门关闭，上游阀门和下游阀门打开。

3. 如权利要求1所述的余热利用系统，其特征在于，当烟气传感器检测到温度低于一定温度的时候，中央控制器控制旁通阀门打开，上游阀门和下游阀门关闭。

4. 如权利要求1所述的余热利用系统，其特征在于，所述空气预热器包括热管、烟气通道和空气通道，所述热管包括蒸发端和冷凝端，所述冷凝端设置在空气通道中，蒸发端设置在烟道内；蒸发端吸收锅炉烟道中烟气的余热，通过冷凝端将热量传递给空气通道中的空气，预热后的空气进入锅炉炉膛进行助燃。

5. 如权利要求4所述的余热利用系统，其特征在于，所述集热管内设置稳定装置，所述稳定装置是片状结构，所述片状结构在集热管的横截面上设置；所述稳定装置为正方形通孔和正八边形通孔组成，所述正方形通孔的边长等于正八边形通孔的边长，所述正方形通孔的四个边分别是四个不同的正八边形通孔的边，正八边形通孔的四个互相间隔的边分别是四个不同的正方形通孔的边。

6. 如权利要求1所述的余热利用系统，其特征在于，集热管的横截面是正方形。

## 基于烟温通信控制阀门的电站锅炉余热利用系统

### 技术领域

[0001] 本发明是和企业共同研发的课题项目的其中一部分,是对前面在先申请的改进,涉及热管余热回收领域,特别是涉及一种利用热管回收烟气余热控制方法及装置。

### 背景技术

[0002] 随着我国经济快速发展,能源消耗日益增加,城市大气质量日益恶化的问题也越发突出,节约能源和减少环境有害物排放的问题迫在眉睫。在常见的蒸汽产生过程中,能耗高、污染严重的主要原因之一是锅炉烟气的排烟温度过高,浪费了大量能源,因此对锅炉尾气余热进行回收再利用,实现节能减排的目的,同时还可以保护环境。但是现有技术中在满足烟气余热的同时,可能会发生低温腐蚀,因此如何避免低温腐蚀是一个重要的问题,同时如果为了仅仅为了避免低温腐蚀,则在某些情况下烟气中余热浪费太多,导致发生余热利用效果不好的问题,因此上述的相关问题亟待解决。

[0003] 热管技术是1963年美国洛斯阿拉莫斯(Los Alamos)国家实验室的乔治格罗佛(George Grover)发明的一种称为“热管”的传热元件,它充分利用了热传导原理与相变介质的快速热传递性质,透过热管将发热物体的热量迅速传递到热源外,其导热能力超过任何已知金属的导热能力。相比于燃煤烟气余热回收中最为常用的管壳式换热器,热管换热器具有传热效率高、结构紧凑、压力损失小、有利于控制露点腐蚀等优点,在燃煤烟气余热回收利用中更具潜力。

[0004] 热管在换热中换热流体都是汽水混合物。热管在蒸发过程中,不可避免的会携带液体到蒸汽端内,同时因为冷凝端的放热冷凝,从而使得冷凝端中存在液体,液体也不可避免的与蒸汽混合,从而使得热管内的流体是汽液混合物,汽液混合物存在导致汽体混成一团,与液体之间换热能力下降,大大的影响了换热的效率。

[0005] 现有技术的锅炉余热利用系统中,针对智能化控制的缺少研究,尤其是涉及同时存在多个余热利用设备的情况下的智能控制,例如设置热量分配等。

[0006] 针对上述问题,本发明在前面发明的基础上进行了改进,提供了一种新的智能控制结构的锅炉余热利用装置,充分利用热源,降低能耗,实现智能控制。

### 发明内容

[0007] 针对上述问题,本发明在前面发明的基础上进行了改进,提供了一种新的结构锅炉余热利用设备,以实现余热的充分利用及其智能控制。

[0008] 为了实现上述目的,本发明的技术方案如下:

[0009] 一种电站锅炉余热利用系统,所述系统包括空气预热器和储热器,所述空气预热器设置在烟道的主管道上,所述储热器设置在副管道上,所述主管道和副管道形成并联管路,烟道中的烟气分别进入主管道和副管道的空气预热器和储热器,在空气预热器中产生蒸汽,在储热器中进行储热,在空气预热器和储热器中换热后的烟气再汇流进入烟道;

[0010] 所述系统包括上游阀门和下游阀门,上游阀门设置在空气预热器和储热器上游的

烟道上,下游阀门设置在空气预热器和储热器下游的烟道上,所述系统还包括中央控制器,所述中央控制器与上游阀门和下游阀门进行数据连接;所述上游阀门上游的烟道中设置第四温度传感器,第四温度传感器用于检测烟道中烟气温度,所述第四温度传感器与中央控制器进行数据连接,中央控制器根据第四温度传感器检测的数据来控制上游阀门、下游阀门的开闭。

[0011] 作为优选,中央控制器检测到烟道有温度超过一定温度的时候,中央控制器控制上游阀门、下游阀门是打开状态,烟气进入空气预热器和储热器,换热完成后进行排烟;中央控制器检测到烟道烟气温度低于一定温度的时候,中央控制器控制上游阀门、下游阀门关闭,空气预热器和储热器所在的管路形成一个循环管路。作为优选,当烟气传感器检测到超过一定温度的时候,中央控制器控制旁通阀门关闭,上游阀门和下游阀门打开。

[0012] 作为优选,当烟气传感器检测到温度低于一定温度的时候,中央控制器控制旁通阀门打开,上游阀门和下游阀门关闭。

[0013] 作为优选,当第三温度传感器测量的温度低于一定的温度的时候,中央控制器控制空气预热器阀门加大开度,同时控制储热器阀门减少开度,以加大进入空气预热器的烟气的流量;当第三温度传感器测量的温度高于一定的温度的时候,中央控制器控制空气预热器阀门减少开度,同时控制储热器阀门加大开度,以减少进入空气预热器的烟气的流量。

[0014] 作为优选,如果第一温度传感器检测的温度低于第二温度传感器检测的温度,则中央控制器控制风机停止运行。如果第一温度传感器检测的温度高于第二温度传感器检测的温度,则中央控制器控制风机开始运行。

[0015] 作为优选,中央控制器检测到管道有烟气经过时候,中央控制器自动控制风机停止运行;当中央控制器检测到管道没有烟气经过时候,中央控制器控制上游阀门、下游阀门关闭,空气预热器和储热器所在的管路形成一个循环管路,中央控制器自动控制风机开始运行。

[0016] 作为优选,所述空气预热器包括热管、烟气通道和空气通道,所述热管包括蒸发端和冷凝端,所述冷凝端设置在空气通道中,蒸发端设置在烟道内;蒸发端吸收锅炉烟道中烟气的余热,通过冷凝端将热量传递给空气通道中的空气,预热后的空气进入锅炉炉膛进行助燃。

[0017] 作为优选,所述集热管内设置稳定装置,所述稳定装置是片状结构,所述片状结构在集热管的横截面上设置;所述稳定装置为正方形通孔和正八边形通孔组成,所述正方形通孔的边长等于正八边形通孔的边长,所述正方形通孔的四个边分别是四个不同的正八边形通孔的边,正八边形通孔的四个互相间隔的边分别是四个不同的正方形通孔的边。

[0018] 作为优选,集热管的横截面是正方形。

[0019] 作为优选,相邻稳定装置之间的距离为K1,正方形的边长为B1,热管为正方形截面,热管的边长为B2,所述热管与水平面形成锐角为A,相邻热管中心之间的间距为K2满足如下要求:

$$[0020] c * K2 / B2 = d * (K1 / B2)^2 + e - f * (K1 / B2)^3 - h * (K1 / B2);$$

[0021] 其中d,e,f,h是参数,

[0022]  $1.239 < d < 1.240, 1.544 < e < 1.545, 0.37 < f < 0.38, 0.991 < h < 0.992; c = 1 / \cos(A)^n$ , 其中 $0.090 < n < 0.098$ , 优选 $n = 0.093$ 。

[0023]  $11 < B_2 < 46\text{mm}$ ;

[0024]  $1.9 < B_1 < 3.2\text{mm}$ ;

[0025]  $18 < K_1 < 27\text{mm}$ 。

[0026]  $16 < K_2 < 76\text{mm}$ 。

[0027] 与现有技术相比较,本发明具有如下的优点:

[0028] 1) 本发明通过上述的运行,可以在有烟气温度满足要求的时候,在满足空气预热器产生的预热的空气量的情况下,将多于的热量存储在储热器中,在没有烟气余热的情况下,利用烟气余热存储的热量来加热空气预热器,以满足空气预热器的实际工作需求。这样可以充分利用烟气余热,避免过多的热量的浪费。

[0029] 2) 本发明提供了一种新式正方形通孔和正八边形通孔相结合的新式结构的稳定装置的电站锅炉余热利用系统,通过正方形和正八边形,使得形成的正方形孔和正八边形孔的边形成的夹角都是大于等于90度,从而使得流体能够充分流过每个孔的每个位置,避免或者减少流体流动的短路。本发明通过新式结构的稳定装置将两相流体分离成液相和气相,将液相分割成小液团,将气相分割成小气泡,抑制液相的回流,促使气相顺畅流动,起到稳定流量的作用,提高换热效果。相对于现有技术中的稳定装置,进一步提高稳流效果,强化传热,而且制造简单。

[0030] 3) 本发明通过合理的布局,使得正方形和正八边形通孔分布均匀,从而使得整体上的横街面上的流体分割均匀,避免了现有技术中的环形结构沿着周向的分割不均匀问题。

[0031] 4) 本发明通过正方形孔和正八边形孔的间隔均匀分布,从而使得大孔和小孔在整体横截面上分布均匀,而且通过相邻的稳定装置的大孔和小孔的位置变化,使得分隔效果更好。

[0032] 5) 本发明通过设置稳定装置为片状结构,使得稳定装置结构简单,成本降低。

[0033] 6) 本发明通过在吸热管高度方向上设置相邻稳定装置之间的距离、稳定装置的孔的边长、吸热管的管径、管间距等参数大小的规律变化,研究了上述参数的最佳的关系尺寸,从而进一步达到稳流效果,降低噪音,提高换热效果。

[0034] 7) 本发明通过对稳定装置各个参数的变化导致的换热规律进行了广泛的研究,在满足流动阻力情况下,实现换热效果的最佳关系式。

[0035] 8) 提供了一种新式结构的余热利用装置,通过在热管之间设置均流管,保证了各个热管中压力的均匀,流体流量的分配均匀以及流体运动阻力的分配均匀。

## 附图说明

[0036] 图1是本发明空气预热器的结构示意图。

[0037] 图2是本发明烟气余热利用装置智能控制的示意图。

[0038] 图3本发明稳定装置横截面结构示意图;

[0039] 图4本发明稳定装置另一个横截面结构示意图;

[0040] 图5是本发明稳定装置在热管内布置示意图;

[0041] 图6是本发明稳定装置在热管内布置横截面示意图;

[0042] 图7是本发明热管设置均流管的横截面示意图。

[0043] 图8是本发明设置旁通烟道的烟气余热利用装置结构示意图。

[0044] 图中:1空气预热器,2储热器,3中央控制器,4稳定装置,5空气预热器阀门,6上游阀门,7下游阀门,8空气出口,9空气进口,10-热管,11壳体,12主管道,13副管道,14烟道,15旁通阀门,16空气通道,17储热器阀门,18均流管

## 具体实施方式

[0045] 下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

[0046] 本文中,如果没有特殊说明,涉及公式的,“/”表示除法,“×”、“\*”表示乘法。

[0047] 下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

[0048] 一种电站锅炉烟道烟气余热利用系统,所述余热利用系统包括空气预热器1,所述空气预热器1包括热管10、烟气通道14和空气通道16,所述热管10包括蒸发端101和冷凝端102,所述冷凝端102设置在空气通道12中,蒸发端101设置在烟道内。蒸发端101吸收锅炉烟道中烟气的余热,通过冷凝端102将热量传递给空气通道12中的空气。预热后的空气进入锅炉炉膛进行助燃。

[0049] 本发明热管在运行中,通过蒸发端101从烟气中吸收热量,然后在冷凝端将热量释放给空气,流体进行冷凝,依靠重力的作用再进入蒸发端101。

[0050] 余热利用装置在运行过程中,存在流体分配不均匀,而且因为在集热过程中,不同的热管吸收的热量不同,导致不同的热管内流体温度不同,有的热管内甚至流体,例如水成为气液两相的状态,有的热管内流体依然是液体,这样因为流体变成蒸汽而导致热管内压力变大,因此通过在热管之间设置均流管,可以使得流体在热管内互相流动,这样使得所有热管内的压力分配达到平衡,也能促进流体分配达到平衡。

[0051] 作为一种选择,如图8所示,所述热管之间设置均流管18。至少两个相邻的热管10之间设置均流管18。在研究中发现,在蒸发管吸热放热的过程中,会出现不同位置的吸热放热管的吸热量放热量不同,导致热管10之间的压力或者温度不同,这样会导致部分热管10温度过高,造成寿命缩短,一旦热管10出现问题,可能导致整个余热利用系统出现无法使用的问题。本发明通过大量的研究,在相邻的热管设置均流管18,可以在热管受热不同而导致压力不同的情况下,可以使得压力大的热管10内的流体快速的流向压力小的热管10,从而保持整体压力均衡,避免局部过热或者过冷。

[0052] 作为优选,从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向,相邻的热管10之间设置多个均流管18。通过设置多个均流管,能够使得流体在吸热蒸发过程中不断的均衡压力,保证整个热管内的压力均衡。

[0053] 作为优选,在蒸发端101,从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向,相邻均流管18之间的距离不断减小。此目的是为了设置更多的均流管,因为随着流体的向上流动,流体不断的吸热,随着流体不断的吸热,不同热管内的压力越来越不均匀,因此通过上述设置,能够保证在流体流动过程中尽快的达到压力均衡。

[0054] 作为优选,在蒸发端101,从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向,相邻均流管之间的距离不断减小的幅度越来越大。通过实验发现,上述设置,能够保证在流体流动过程中更优更快的达到压力均衡。这也是通过大量的研究压力分布变化规律而得来的最佳的连通方式。

[0055] 作为优选，在蒸发端101，从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向，均流管18的直径不断增加。此目的是为了设置保证更大的连通面积，因为随着流体的向上流动，流体不断的吸热生成蒸汽，随着蒸汽不断的差生，不同热管内的温度压力越来越不均匀，因此通过上述设置，能够保证在流体流动过程中尽快的达到压力均衡。

[0056] 作为优选，在蒸发端101，从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向，均流管18的直径不断增加的幅度越来越大。通过实验发现，上述设置，能够保证在流体流动过程中更优更快的达到压力均衡。这也是通过大量的研究压力分布变化规律而得来的最佳的连通方式。

[0057] 作为优选，在冷凝端102，从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向，相邻均流管18之间的距离不断增加。此目的是为了设置更少的均流管，降低成本。因为随着冷凝端102的下部向上，热管内蒸汽不断的放热冷凝，随着流体不断的放热，热管内的压力越来越小，因此不均匀的现象也越来越缓和，因此通过上述设置，可以节省材料，根据压力变化设置均流管，能够保证在流体流动过程中尽快的达到压力均衡。

[0058] 作为优选，在冷凝端102，从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向，相邻均流管之间的距离不断增加的幅度越来越大。通过实验发现，上述设置，能够保证在流体流动过程中更优更快的达到压力均衡。这也是通过大量的研究压力分布变化规律而得来的最佳的连通方式。

[0059] 作为优选，在冷凝端102，从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向，均流管18的直径不断降低。此目的是为了设置保证减少的连通面积，降低成本。与前面距离不断增加的原理相同。

[0060] 作为优选，在冷凝端102，从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向，均流管18的直径不断降低的幅度越来越大。通过实验发现，上述设置，能够保证在流体流动过程中更优更快的达到压力均衡。这也是通过大量的研究压力分布变化规律而得来的最佳的连通方式。

[0061] 热管中因为蒸汽的换热，使得热管出现汽液两相流，一方面，热管在蒸发过程中，不可避免的会携带液体到热管内，同时因为冷凝端的放热冷凝，从而使得冷凝端中存在液体，液体也不可能避免的进入蒸汽中，从而使得热管内的流体是汽液混合物，同时热管在运行过程中会因为老化产生的不凝气体，不凝气体一般上升到热管上部的冷凝端，不凝气体的存在导致热管冷凝端内的压力增加，压力使得液体向热管内流动。大大的影响了换热的效率。因此本发明采取了新的结构，来分割汽相和液相，使得换热加强。

[0062] 热管内设置稳定装置4，所述稳定装置4的结构如图2、3所示。所述稳定装置4是片状结构，所述片状结构在热管10的横截面上设置；所述稳定装置4为正方形和正八边形结构组成，从而形成正方形通孔41和正八边形通孔42。如图2所述正方形通孔41的边长等于正八边形通孔42的边长，所述正方形通孔的四个边43分别是四个不同的正八边形通孔的边43，正八变形通孔的四个互相间隔的边43分别是四个不同的正方形通孔的边43。

[0063] 本发明采用新式结构的稳定装置，具有如下优点：

[0064] 1) 本发明提供了一种新式正方形通孔和正八边形通孔相结合的新式结构的稳定装置，通过正方形和正八边形，使得形成的正方形孔和正八边形孔的边形成的夹角都是大于等于90度，从而使得流体能够充分流过每个孔的每个位置，避免或者减少流体流动的短路。本发明通过新式结构的稳定装置将两相流体分离成液相和气相，将液相分割成小液团，将气相分割成小气泡，抑制液相的回流，促使气相顺畅流动，起到稳定流量的作用，具有减

振降噪的效果,提高换热效果。相对于现有技术中的稳定装置,进一步提高稳流效果,强化传热,而且制造简单。

[0065] 2) 本发明通过合理的布局,使得正方形和正八边形通孔分布均匀,从而使得整体上的横街面上的流体分割均匀,避免了现有技术中的环形结构沿着周向的分割不均匀问题。

[0066] 3) 本发明通过正方形孔和正八边形通孔的间隔均匀分布,从而使得大孔和小孔在整体横截面上分布均匀,而且通过相邻的稳定装置的大孔和小孔的位置变化,使得分隔效果更好。

[0067] 4) 本发明通过设置稳定装置为片状结构,使得稳定装置结构简单,成本降低。

[0068] 本发明通过设置环形稳定装置,相当于在热管内增加了内换热面积,强化了换热,提高了换热效果。

[0069] 本发明因为将气液两相在所有换热管的所有横截面位置进行了分割,从而在整个换热管截面上实现气液界面以及气相边界层的分割与冷却壁面的接触面积并增强扰动,大大的降低了噪音和震动,强化了传热。

[0070] 作为优选,所述稳定装置包括两种类型,如图3,4所示,第一种类型是正方形中心稳定装置,正方形位于热管或者冷凝管的中心,如图4所示。第二种是正八边形中心稳定装置,正八边形位于热管或者冷凝管的中心,如图3所示。作为一个优选,上述两种类型的稳定装置相邻设置,即相邻设置的稳定装置类型不同。即与正方形中心稳定装置相邻的是正八边形中心稳定装置,与正八边形中心稳定装置相邻的是正方形中心稳定装置。本发明通过正方形孔和正八边形孔的间隔均匀分布,从而使得大孔和小孔在整体横截面上分布均匀,而且通过相邻的稳定装置的大孔和小孔的位置变化,使得通过大孔的流体接下来通过小孔,通过小孔的流体接下来通过大孔,进一步进行分隔,促进汽液的混合,使得分隔和换热效果更好。

[0071] 作为优选,所述热管10的横截面是正方形。

[0072] 作为优选,蒸发端内设置多个稳定装置,在蒸发端101,从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向,稳定装置之间的间距不断变小。设距离热管的蒸发端端部的距离为H,相邻稳定装置之间的间距为S, $S=F_1(H)$ ,即S是以高度H为变量的函数,S'是S的一次导数,满足如下要求:

[0073]  $S' < 0$ ;

[0074] 主要原因是由于热管内液体不断受热产生蒸汽,在上升过程中,蒸汽不断的越来越多,导致气液两相流中的汽体越来越多,因为汽液两相流中的汽相越来越多,热管内的换热能力会随着汽相增多而相对减弱,震动及其噪音也会随着汽相增加而不断的增加。因此需要设置的相邻稳定装置之间的距离越来越短。

[0075] 通过实验发现,通过上述的设置,既可以最大程度上减少震动和噪音,同时可以提高换热效果。

[0076] 进一步优选,在蒸发端101,从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向,相邻稳定装置之间的距离越来越短的幅度不断增加。即S''是S的二次导数,满足如下要求:

[0077]  $S'' > 0$ ;

[0078] 通过实验发现,通过如此设置,能够进一步降低7%左右的震动和噪音,同时提高

8%左右的换热效果。

[0079] 作为优选,蒸发端101内设置多个稳定装置,在蒸发端101,从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向,正方形的边长越来越小。距离热管的下端的距离为H,正方形的边长为C,C=F<sub>2</sub>(H),C'是C的一次导数,满足如下要求:

[0080] C' < 0;

[0081] 进一步优选,在蒸发端101,从热管10蒸发端向热管10冷凝端方向,正方形的边长越来越小的幅度不断的增加。C''是C的二次导数,满足如下要求:

[0082] C'' > 0。

[0083] 具体理由参见前面稳定装置间距变化。

[0084] 作为优选,相邻稳定装置之间的距离保持不变。

[0085] 作为优选,冷凝端内设置多个稳定装置,在冷凝端102,从冷凝端102入口开始(即从热管10伸入空气通道的位置开始)到冷凝端端部,稳定装置之间的间距不断增加。设距离从热管10伸入空气通道的位置的距离为H,相邻稳定装置之间的间距为S,S=F<sub>1</sub>(H),即S是以高度H为变量的函数,S'是S的一次导数,满足如下要求:

[0086] S' > 0;

[0087] 主要原因是由于冷凝端内蒸汽在上升过程中不断冷凝,蒸汽不断的越来越少,导致气液两相流中的汽体越来越少,因为气液两相流中的气相越来越少。因此需要设置的相邻稳定装置之间的距离越来越长,这样,可以进一步节约成本,达到基本相同的效果,减少流动阻力。

[0088] 通过实验发现,通过上述的设置,既可以最大程度上减少震动和噪音,同时可以提高换热效果。

[0089] 进一步优选,在冷凝端102,从冷凝端102入口开始(即从热管10伸入空气通道的位置开始)到冷凝端端部,相邻稳定装置之间的距离越来越长的幅度不断增加。即S''是S的二次导数,满足如下要求:

[0090] S'' > 0;

[0091] 通过实验发现,通过如此设置,能够进一步降低7%左右的阻力,同时达到基本相同的换热效果。

[0092] 作为优选,冷凝端102内设置多个稳定装置,在冷凝端102,从冷凝端102入口开始(即从热管10伸入空气通道的位置开始)到冷凝端端部,正方形的边长越来越大。设距离从热管10伸入水箱的位置的距离为H,正方形的边长为C,C=F<sub>2</sub>(H),C'是C的一次导数,满足如下要求:

[0093] C' > 0;

[0094] 进一步优选,在冷凝端102,从热管的下端向上,正方形的边长越来越大的幅度不断的增加。C''是C的二次导数,满足如下要求:

[0095] C'' > 0。

[0096] 具体理由参见前面稳定装置间距变化。

[0097] 作为优选,相邻稳定装置之间的距离保持不变。

[0098] 通过分析以及实验得知,稳定装置之间的间距不能过大,过大的话导致减震降噪以及分隔的效果不好,同时也不能过小,过小的话导致阻力过大,同理,正方形的边长也不

能过大或者过小,也会导致减震降噪的效果不好或者阻力过大,因此本发明通过大量的实验,在优先满足正常的流动阻力(总承压为2.5Mpa以下,或者单根热管的沿程阻力小于等于5Pa/M)的情况下,使得减震降噪达到最优化,整理了各个参数最佳的关系。

[0099] 作为优选,本发明是设置在竖直烟道上。热管与烟道延伸方向呈一定角度。即热管与水平呈一定角度。

[0100] 作为优选,相邻稳定装置之间的距离为K1,正方形通孔的边长为B1,热管为正方形截面,热管正方形截面的边长为B2,所述热管与水平面形成锐角为A,满足如下要求:

$$[0101] c*K1/B2 = a*Ln(B1/B2) + b$$

[0102] 其中a,b是参数,其中 $1.725 < a < 1.733$ , $4.99 < b < 5.01$ ; $c = 1/\cos(A)^m$ ,其中 $0.085 < m < 0.095$ ,优选 $m = 0.090$ 。

[0103]  $11 < B2 < 46\text{mm}$ ;

[0104]  $1.9 < B1 < 3.2\text{mm}$ ;

[0105]  $18 < K1 < 27\text{mm}$ 。

[0106]  $0^\circ < A < 50^\circ$ 。

[0107] 作为优选, $0^\circ < A < 25^\circ$ 。

[0108] 进一步优选,随着B1/B2的增加,a越来越小,b越来越大。

[0109] 作为优选, $a = 1.728$ , $b = 4.997$ ;

[0110] 作为优选,正方形通孔的边长B1是正方形通孔内边长和外边长的平均值,热管正方形截面的边长B2是热管内边长和外边长的平均值。

[0111] 作为优选,正方形通孔的外边长等于热管正方形截面的内边长。

[0112] 随着A的增加,m越来越小。

[0113] 作为优选,随着B2的增加,B1也不断增加。但是随着B2的增加,B1不断增加的幅度越来越小。此规律变化是通过大量的数值模拟和实验得到的,通过上述规律的变化,能够进一步提高换热效果,降低噪音。

[0114] 作为优选,随着B2的增加,K1不断减小。但是随着B2的增加,K1不断减小的幅度越来越小。此规律变化是通过大量的数值模拟和实验得到的,通过上述规律的变化,能够进一步提高换热效果,降低噪音。

[0115] 通过分析以及实验得知,热管的间距也要满足一定要求,例如不能过大或者过小,无论过大或者过小都会导致换热效果不好,而且因为本申请热管内设置了稳定装置,因此稳定装置也对热管间距有一定要求。因此本发明通过大量的实验,在优先满足正常的流动阻力(总承压为2.5Mpa以下,或者单根热管的沿程阻力小于等于5Pa/M)的情况下,使得减震降噪达到最优化,整理了各个参数最佳的关系。

[0116] 相邻稳定装置之间的距离为K1,正方形的边长为B1,热管为正方形截面,热管的边长为B2,所述热管与水平面形成锐角为A,相邻热管中心之间的间距为K2满足如下要求:

$$[0117] c*K2/B2 = d*(K1/B2)^2 + e - f*(K1/B2)^3 - h*(K1/B2)$$

[0118] 其中d,e,f,h是参数,

[0119]  $1.239 < d < 1.240$ , $1.544 < e < 1.545$ , $0.37 < f < 0.38$ , $0.991 < h < 0.992$ ; $c = 1/\cos(A)^n$ ,其中 $0.090 < n < 0.098$ ,优选 $n = 0.093$ 。

[0120]  $11 < B2 < 46\text{mm}$ ;

- [0121]  $1.9 < B1 < 3.2 \text{mm}$ ;
- [0122]  $18 < K1 < 27 \text{mm}$ 。
- [0123]  $16 < K2 < 76 \text{mm}$ 。
- [0124] 相邻热管中心之间的间距为K2是指热管中心线之间的距离。
- [0125] 随着A的增加,n越来越小。
- [0126]  $0^\circ < A < 50^\circ$ 。
- [0127] 作为优选, $0^\circ < A < 25^\circ$ 。
- [0128] 进一步优选, $d = 1.2393, e = 1.5445, f = 0.3722, h = 0.9912$ ;
- [0129] 作为优选,随着 $K1/B2$ 的增加,d,e,f越来越大,h越来越小。
- [0130] 作为优选,随着B2的增加,K2不断增加,但是随着B2的增加,K2不断增加的幅度越来越小。此规律变化是通过大量的数值模拟和实验得到的,通过上述规律的变化,能够进一步提高换热效果。
- [0131] 作为优选,蒸发端(热管位于烟道1中的长度)长度为1000—1800mm之间。进一步优选,1200—1400mm之间。
- [0132] 作为优选,冷凝端长度为500—900mm之间。进一步优选,600—700mm之间。
- [0133] 通过上述公式的最佳的几何尺度的优选,能够实现满足正常的流动阻力条件下,减震降噪达到最佳效果。
- [0134] 对于其他的参数,例如管壁、壁厚等参数按照正常的标准设置即可。
- [0135] 所述的热管为多个,沿着烟气的流动方向,所述热管的分布密度越来越小。在数值模拟和实验中发现,沿着烟气的流动方向,热管的受热量越来越小,而且不同位置的热管的温度也不同,从而造成局部受热不均匀。因为随着烟气的不断的换热,烟气的温度也在不断的下降,导致换热能力也在下降,因此,本发明通过在烟气通道的不同位置设置热管的密度不同,从而使的沿着烟气流动方向,热管的吸热能力不断下降,从而使得整体热管温度保持基本相同,从而提高整体的换热效率,节约材料,避免温度不均匀造成的局部损坏,延长热管的使用寿命。
- [0136] 作为优选,沿着烟气的流动方向,所述热管的分布密度越来越小的幅度不断的增加。作为热管分布密度的变化,本发明进行了大量的数值模拟和实验,从而得到上述的热管分布密度的变化规律。通过上述的变化规律,能够节约材料,同时还能够提高9%左右的换热效率。
- [0137] 作为优选,所述每个热管10的直径和长度都相同。
- [0138] 作为优选,沿着烟气流动方向,分布热管的烟道的长度为C,沿着烟气流动方向,烟道最后端的尾部的热管10的密度是M尾,则距离热管10尾部距离为1位置的热管密度M规律如下: $M = b * M_{\text{尾}} + c * M_{\text{尾}} * (1/C)^a$ ,其中a、b、c是系数,满足如下要求:
- [0139]  $1.083 < a < 1.127, 0.982 < b+c < 1.019, 0.483 < b < 0.648$ 。
- [0140] 作为优选,随着 $1/C$ 增加,a逐渐减小。
- [0141] 作为优选, $1.09 < a < 1.11, b+c = 1, 0.543 < b < 0.578$ ;
- [0142] 上述优化的公式是通过大量的实验和数值模拟得到的,能够使得热管的热管的分布密度达到最优化的分布,能够整体上热量分布均匀,换热效果好,同时能够节省材料。作为优选,所述竖直部分101设置在空气通道中。通过加热空气通道,使得加热的空气直接用

于燃烧。

[0143] 作为优选，所述的热管为多个，沿着烟气的流动方向，所述热管的管径越来越小。在数值模拟和实验中发现，沿着烟气的流动方向，热管的受热量越来越小，而且不同位置的热管的温度也不同，从而造成局部受热不均匀。因为随着烟气的不断的换热，烟气的温度也在不断的下降，导致换热能力也在下降，因此，本发明通过在烟气通道的不同位置设置热管的管径不同，从而使的沿着烟气流动方向，热管的吸热能力不断下降，从而使得整体热管温度保持基本相同，从而提高整体的换热效率，节约材料，避免温度不均匀造成的局部损坏，延长热管的使用寿命。

[0144] 作为优选，沿着烟气的流动方向，所述热管的管径越来越小的幅度不断的增加。作为热管管径的变化，本发明进行了大量的数值模拟和实验，从而得到上述的热管管径的变化规律。通过上述的变化规律，能够节约材料，同时还能够提高8%左右的换热效率。

[0145] 作为优选，所有热管10的分布密度和长度都相同。

[0146] 沿着烟气流动方向，分布热管的烟道的长度为C，沿着烟气流动方向，烟道最后端，即热管尾部的热管的管径是D尾，则距离热管尾部距离为1位置的热管管径D规律如下：

[0147]  $D^2 = b * (D_{\text{尾}})^2 + c * (D_{\text{尾}})^2 * (1/C)^a$ ，其中a、b、c是系数，满足如下要求：

[0148]  $1.085 < a < 1.125, 0.985 < b+c < 1.015, 0.485 < b < 0.645$ 。

[0149] 作为优选，随着 $1/C$ 增加，a逐渐减小。

[0150] 作为优选， $1.093 < a < 1.106, b+c = 1, 0.548 < b < 0.573$ ；

[0151] 上述优化的公式是通过大量的实验和数值模拟得到的，能够使得热管的分布密度达到最优化的分布，能够整体上热量分布均匀，换热效果好，同时能够节省材料。

[0152] 作为优选，沿着烟气流动方向，所述冷凝端延伸到空气通道的长度越来越小。

[0153] 作为优选，沿着烟气的流动方向，所述冷凝端延伸到空气通道的长度越来越小的幅度不断的增加。上述规律的变化与前面的分布密度直径变化类似，都是在沿着烟气的流动方向，减少换热面积，使得沿着烟气流动方向，冷凝管的吸热能力不断下降，以适用换热数量的逐渐下降。

[0154] 进一步优选，如图1所示，余热利用系统包括储热器2，烟气通道包括主管道12和副管道13。热管设置在烟道的主管道12上。所述储热器2设置在副管道13上，所述主管道12和副管道12形成并联管路。烟道14中的烟气分别进入主管道12和副管道13的空气预热器1和储热器2，通过热管加热空气，在储热器2中进行储热，在空气预热器1和储热器2中换热后的烟气再汇流进入总烟道。

[0155] 上述系统中，通过烟气余热加热空气的同时，可以利用储热器进行储热。

[0156] 如图1所示，所述系统包括储热器阀门17和空气预热器阀门5、上游阀门6和下游阀门7，上游阀门6设置在空气预热器1和储热器2上游的烟道14上，用于控制进入空气预热器1和储热器2的总的烟气流量，下游阀门7设置在空气预热器1和储热器2下游的烟道14上，空气预热器阀门5设置在主烟道12的空气预热器1的入口的位置，用于控制进入空气预热器1的烟气的流量，储热器阀门17设置在副管道13的储热器2的入口管的位置，用于控制进入储热器2的烟气的流量，所述系统还包括中央控制器，所述中央控制器与储热器阀门17、空气预热器阀门5和上游阀门6、下游阀门7进行通信数据连接。所述中央控制器控制储热器阀门17、空气预热器阀门5和上游阀门6、下游阀门7的开闭以及开度的大小，从而控制进入空气

预热器1和储热器2的烟气量。

[0157] 作为优选,如图8所示,所述系统还设置与烟道14连接的旁通管道,所述旁通管道与烟道14的连接位置位于上游阀门6的上游,所述旁通管道上设置旁通阀门15。所述旁通阀门15与中央控制器3数据连接。旁通阀门15的开闭能够保证烟气是否通过空气预热器1和储热器2。

[0158] 作为优选,所述旁通阀门15打开,上游阀门6和下游阀门7关闭。

[0159] (一)根据烟气流动控制阀门的开闭

[0160] 作为优选,所述上游阀门6上游的烟道14中设置烟气传感器,烟气传感器用于检测烟道中是否有烟气流过。所述烟气传感器与中央控制器进行数据连接,中央控制器根据烟道传感器检测的数据来控制上游阀门6和下游阀门的开闭。

[0161] 中央控制器检测到烟道14有烟气经过时候,例如,锅炉在运行的时候,中央控制器控制上游阀门6、下游阀门7是打开状态,烟气可以进入空气预热器1和储热器2,换热完成后进行排烟。中央控制器检测到烟道14没有烟气经过时候,例如锅炉停止运行时,中央控制器控制上游阀门6、下游阀门7关闭,空气预热器1和储热器2所在的管路形成一个循环管路。此时利用储热器2的储热来加热空气预热器1,从而预热空气。通过上述的运行,可以在有烟气的时候,在满足空气预热器1产生的预热的空气量的情况下,将多于的热量存储在储热器2中,在没有烟气余热的情况下,利用烟气余热存储的热量来加热空气预热器1,以满足空气预热器1的实际工作需求。这样可以充分利用烟气余热,避免过多的热量的浪费。

[0162] 作为优选,所述旁通阀门15打开,上游阀门6和下游阀门7关闭。

[0163] 作为优选,当烟气传感器检测到烟气的时候,中央控制器控制旁通阀门15关闭,上游阀门6和下游阀门7打开。

[0164] 作为优选,当烟气传感器检测到没有烟气的时候,中央控制器控制旁通阀门15打开,上游阀门6和下游阀门7关闭。

[0165] (二)根据烟气流动控制封闭循环系统风机的运行

[0166] 作为优选,所述副管道13上设置风机,用于在没有烟气余热的情况下,上游阀门6和下游阀门7关闭,通过风机的运行使得空气预热器1和储热器2所在的管路形成一个循环管路。

[0167] 作为优选,所述风机与中央控制器进行数据连接,所述中央控制器3根据烟道传感器监测的数据自动控制风机的运行。

[0168] 中央控制器检测到管道有烟气经过时候,中央控制器自动控制风机停止运行。当中央控制器检测到管道没有烟气经过时候,中央控制器自动控制风机开始运行。通过控制风机的智能运行,可以根据实际情况实现风机运行的智能控制,提高了系统的智能化。

[0169] (三)根据双温度检测控制风机的运行

[0170] 作为优选,所述储热器2内设置第一温度传感器,用于检测储热器内储热材料的温度。所述空气预热器内设置第二温度传感器,用于检测空气预热器1内空气的温度。所述第一温度传感器和第二温度传感器与中央控制器3数据连接。上游阀门6和下游阀门7关闭,所述中央控制器3根据第一温度传感器和第二温度传感器检测的温度自动控制风机的运行。

[0171] 如果第一温度传感器检测的温度低于第二温度传感器检测的温度,则中央控制器3控制风机停止运行。如果第一温度传感器检测的温度高于第二温度传感器检测的温度,则

中央控制器3控制风机开始运行。

[0172] 通过检测的温度来控制风机的运行,可以实现对空气预热器自主加热。因为在研发和实验过程中发现,当储热器的热量逐渐的用完的情况下,会出现储热器出来的气体的温度低于空气预热器1中的空气的温度,此种情况下再使用储热器来加热空气预热器是不可能的,反而可能会导致空气预热器的热量被带走。因此通过根据检测的温度智能控制风机的运行,从而智能控制储热器2和空气预热器1的循环,提高空气预热效果。

[0173] (四) 根据空气预热器入口烟气温度控制阀门的开度

[0174] 作为优选,第三温度传感器设置在空气预热器1的烟气入口的位置处,用于测量进入空气预热器的烟气的温度。第三温度传感器与中央控制器3进行数据连接,中央控制器根据第三温度传感器检测的温度来自动控制空气预热器阀门5和储热器阀门17的阀门开度。

[0175] 优选的,当第三温度传感器测量的温度低于一定的温度的时候,中央控制器控制阀门5加大开度,同时控制阀门17减少开度,以加大进入空气预热器1的烟气的流量。当第三温度传感器测量的温度高于一定的温度的时候,中央控制器控制阀门5减少开度,同时控制阀门17加大开度,以减少进入空气预热器1的空气的流量。

[0176] 当第三温度传感器测量的温度低到一定温度的时候,此时空气预热器1预热空气的能力会变差,无法满足正常的需求,因此需要更多的烟气来加热空气预热器,从而预热空气。

[0177] 通过上述的运行,可以在烟气温度高的时候,在满足预热的空气产生需求以后,将多余的热量通过储热器进行储热,在烟气温度低的时候,可以将更多的烟气进入空气预热器内用于预热空气,保证了预热的空气的需求,同时节约能源。

[0178] (五) 根据烟气温度控制阀门的开闭

[0179] 作为优选,所述上游阀门6上游的烟道14中设置第四温度传感器,第四温度传感器用于检测烟道中烟气温度。所述第四温度传感器与中央控制器进行数据连接,中央控制器根据第四温度传感器检测的数据来控制上游阀门6、下游阀门7的开闭。

[0180] 中央控制器检测到烟道14有温度超过一定温度的时候,例如,锅炉在运行的时候开始排出高温烟气,中央控制器控制上游阀门6、下游阀门7是打开状态,烟气可以进入空气预热器1和储热器2,换热完成后进行排烟。中央控制器检测到烟道14烟气温度低于一定温度的时候,例如锅炉停止运行时,或者因为前面的余热利用导致烟气温度偏低,为了避免低温腐蚀或者无法对余热进行利用,中央控制器控制上游阀门6、下游阀门7关闭,空气预热器1和储热器2所在的管路形成一个循环管路。此时利用储热器2的储热来加热空气预热器1,从而预热空气。通过上述的运行,可以在有烟气温度满足要求的时候,在满足空气预热器1产生的预热的空气量的情况下,将多余的热量存储在储热器2中,在没有烟气余热的情况下,利用烟气余热存储的热量来加热空气预热器1,以满足空气预热器1的实际工作需求。这样可以充分利用烟气余热,避免过多的热量的浪费。

[0181] 作为优选,当烟气传感器检测到超过一定温度的时候,中央控制器控制旁通阀门15关闭,上游阀门6和下游阀门7打开。

[0182] 作为优选,当烟气传感器检测到温度低于一定温度的时候,中央控制器控制旁通阀门15打开,上游阀门6和下游阀门7关闭。

[0183] (六) 根据烟气流动控制封闭循环系统风机的运行

[0184] 本实施例是在第(五)实施例的基础上的改进。

[0185] 作为优选,所述副管道13上设置风机,管道14的烟气温度低于一定的情况下,通过风机的运行使得空气预热器1和储热器2所在的管路形成一个循环管路。

[0186] 作为优选,所述风机与中央控制器进行数据连接,所述中央控制器3根据烟道传感器监测的数据自动控制风机的运行。

[0187] 中央控制器检测到管道有烟气温度高于一定温度时候,中央控制器控制上游阀门6和下游阀门7打开,自动控制风机停止运行。因为此时的烟气温度满足换热需要,因此可以利用烟气来加热空气预热器和储热器2。当中央控制器检测到管道烟气温度低于一定温度时候,中央控制器控制上游阀门6和下游阀门7关闭,中央控制器自动控制风机开始运行。因为此时的烟气温度不满足换热需要,因此需要利用储热器2来加热空气预热器。通过根据烟气温度控制风机的智能运行,可以根据实际情况实现风机运行的智能控制,提高了系统的智能化。

[0188] 中央控制器检测到管道有烟气温度高于一定温度时候,旁通阀门关闭。当中央控制器检测到管道烟气温度低于一定温度时候,旁通阀门打开。

[0189] (七)根据储热器出口温度检测控制风机的运行

[0190] 作为优选,所述储热器2的出口设置第一温度传感器,用于检测储热器出口气体的温度。所述空气预热器内设置第二温度传感器,用于检测空气预热器1内空气的温度。所述第一温度传感器和第二温度传感器与中央控制器3数据连接。所述中央控制器3根据第一温度传感器和第二温度传感器检测的温度自动控制风机的运行。

[0191] 如果第一温度传感器检测的温度低于第二温度传感器检测的温度,则中央控制器3控制风机停止运行。

[0192] 上游阀门和下游阀门关闭的情况下,通过检测的温度来控制风机的运行,可以实现对空气预热器自主加热。因为在研发和实验过程中发现,当储热器的热量逐渐的用完的情况下,会出现储热器出来的气体的温度低于空气预热器1中的空气的温度,此种情况下再使用储热器来加热空气预热器是不可能的,反而可能会导致空气预热器的热量被带走。因此通过根据检测的温度智能控制风机的运行,从而智能控制储热器2和空气预热器1的循环,提高预热的空气的产生率。

[0193] 虽然本发明已以较佳实施例披露如上,但本发明并非限定于此。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。

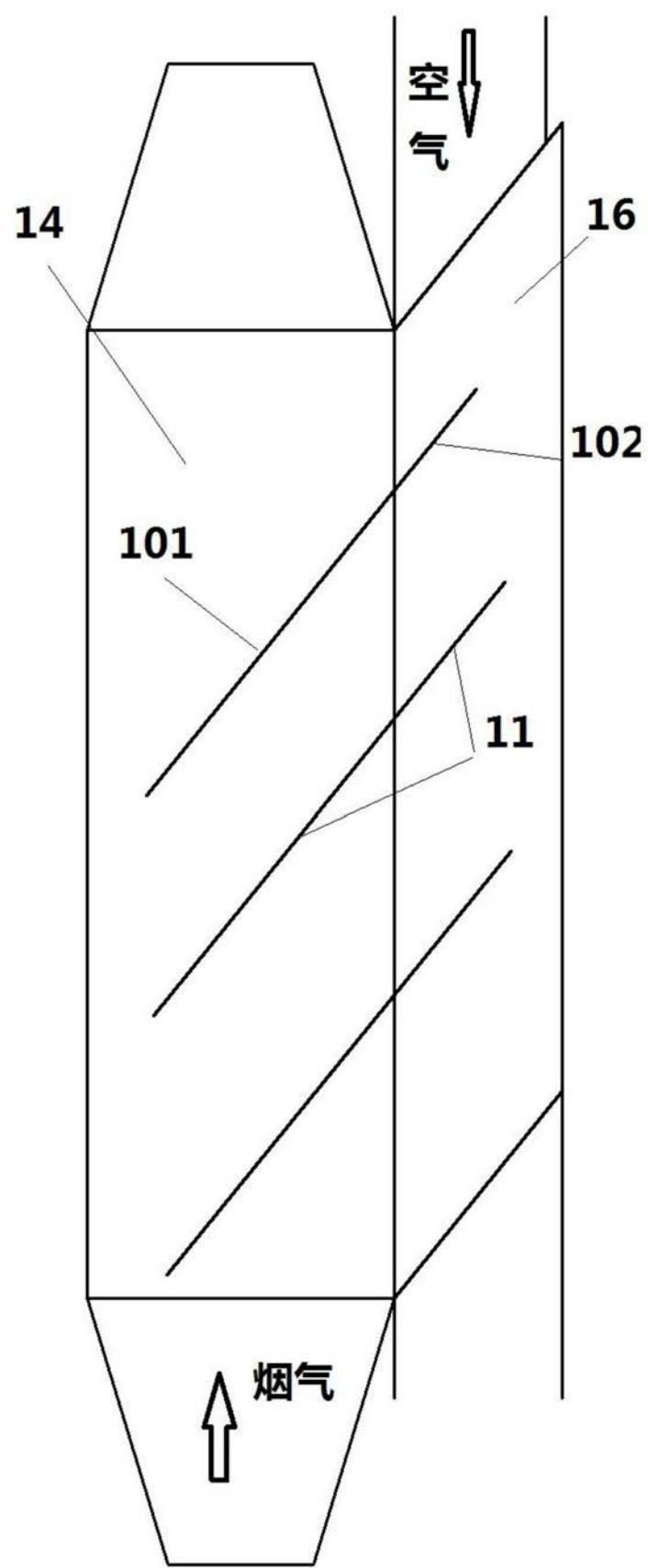


图1

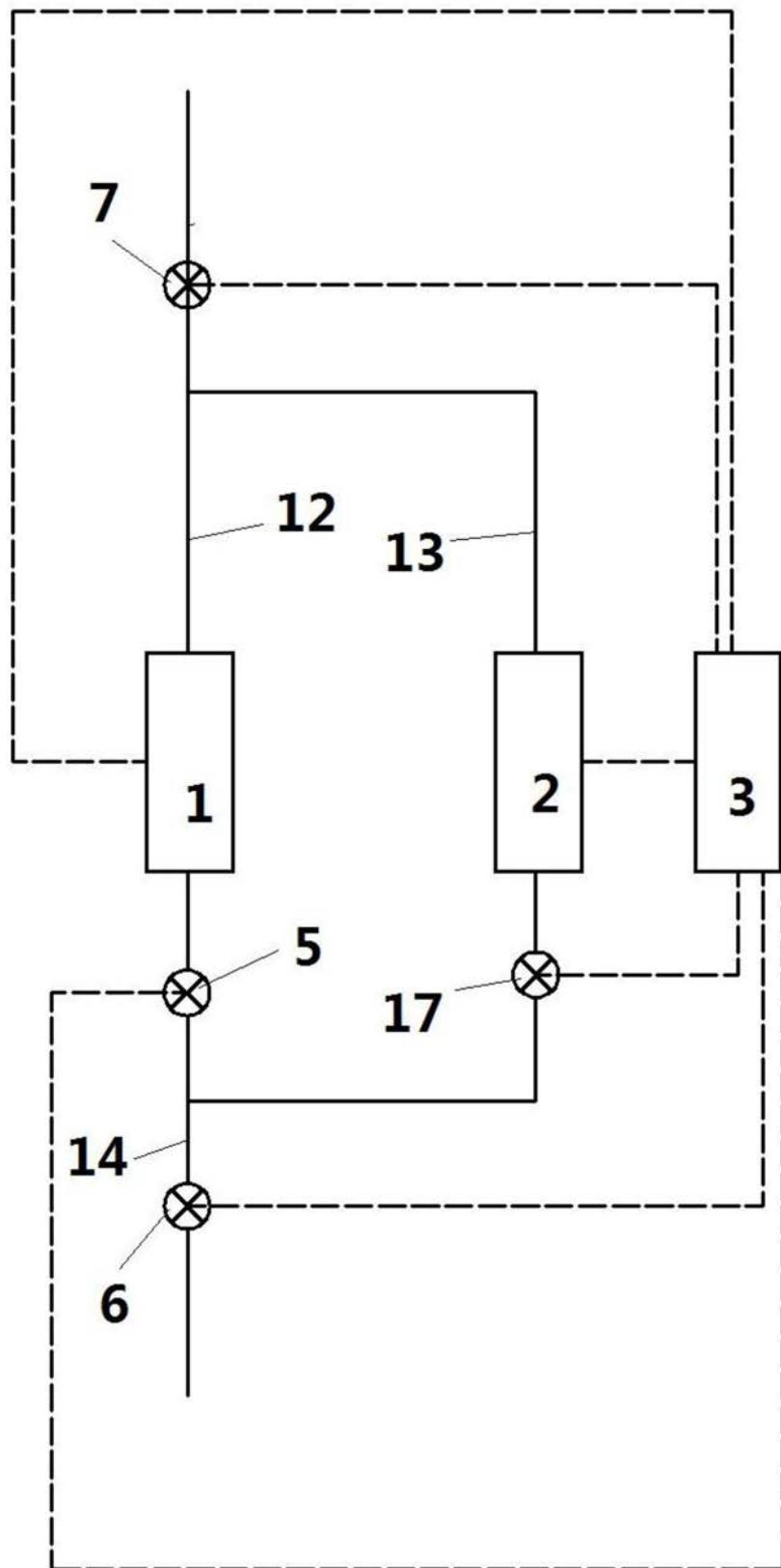


图2

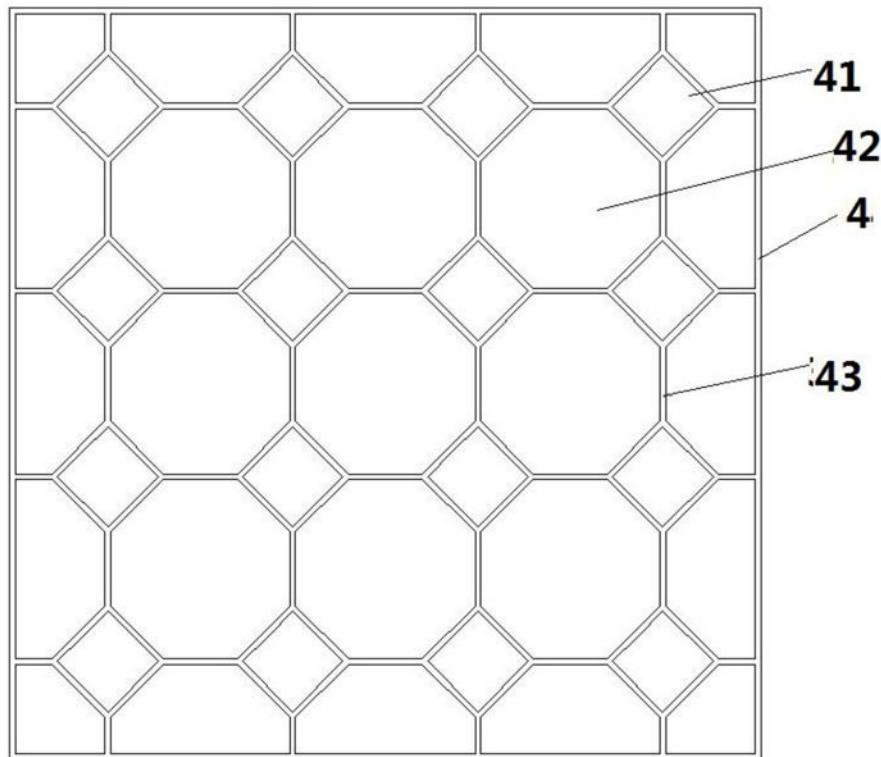


图3

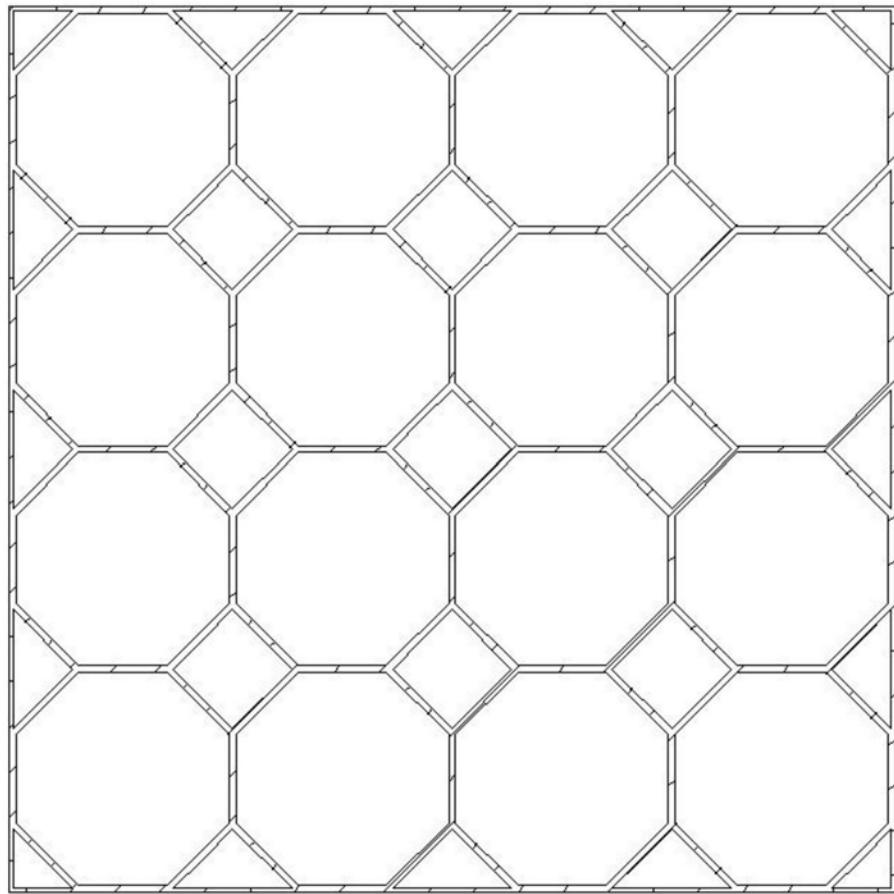


图4

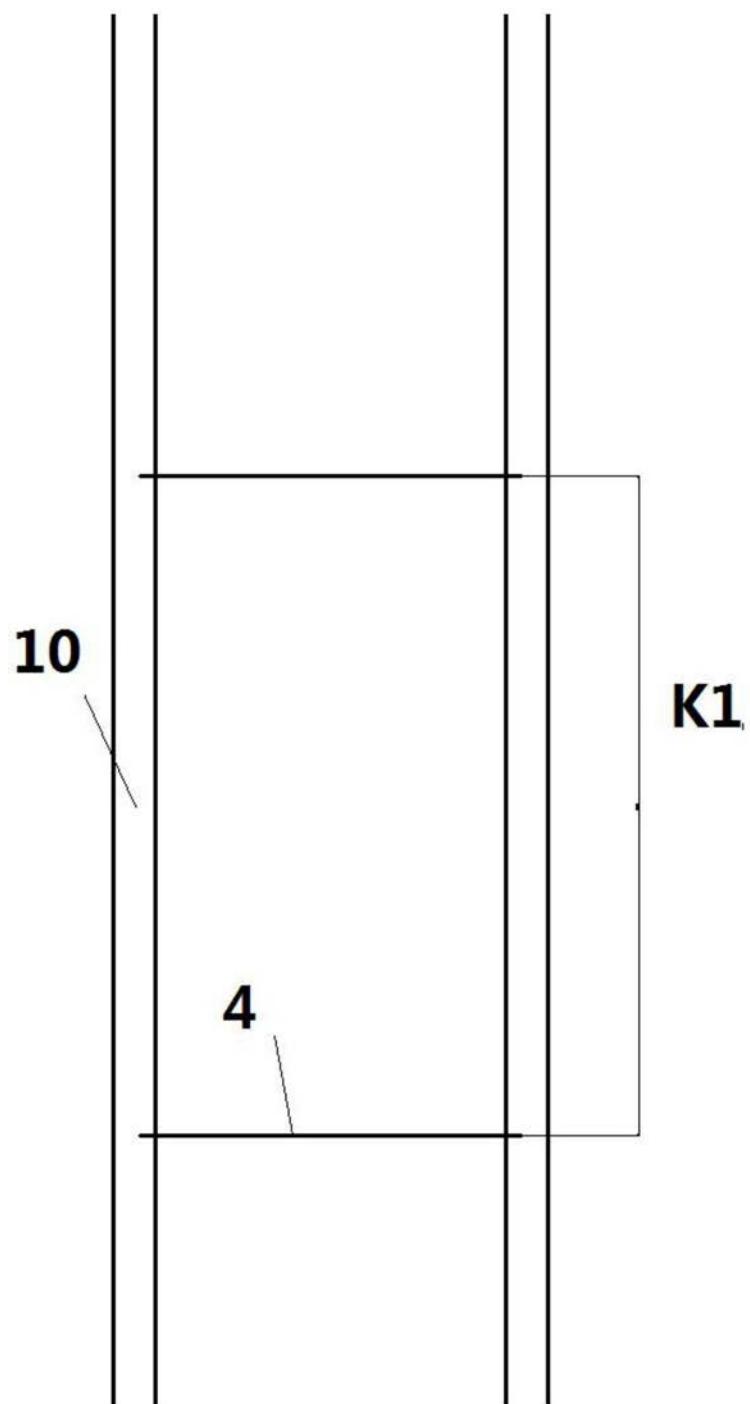


图5

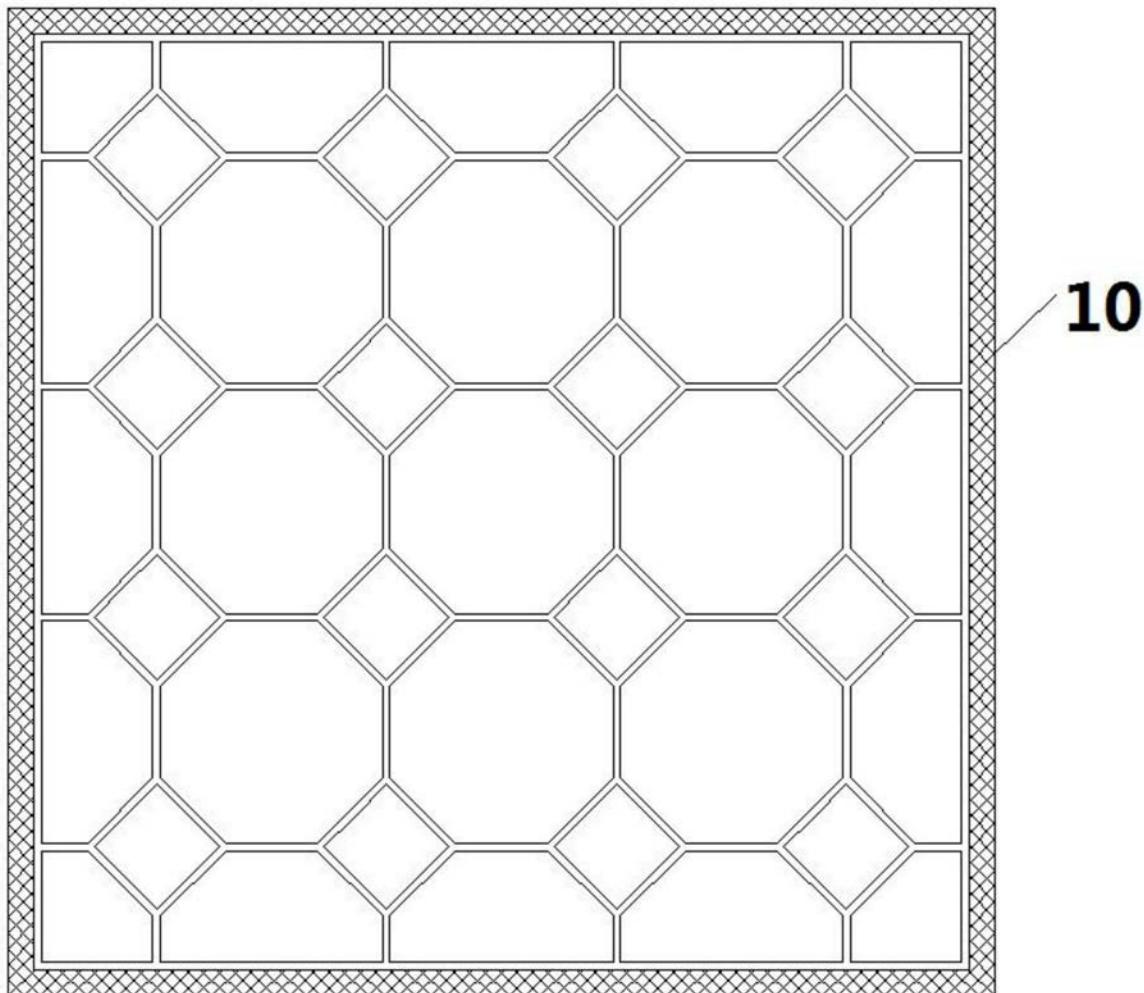


图6

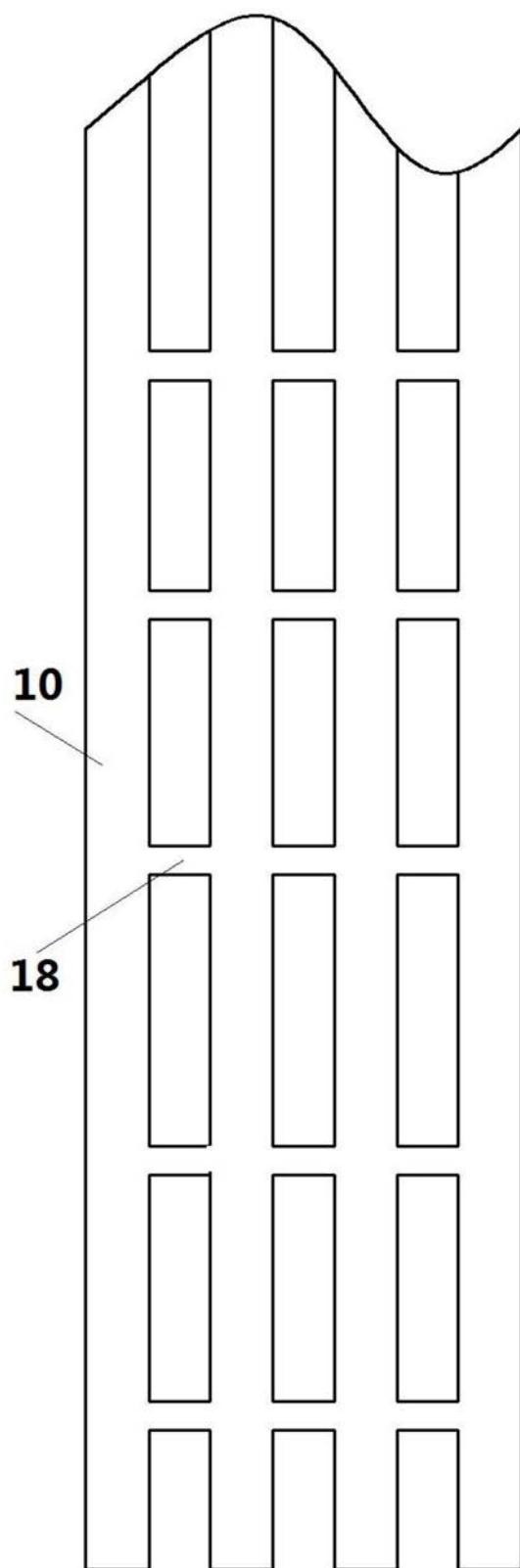


图7

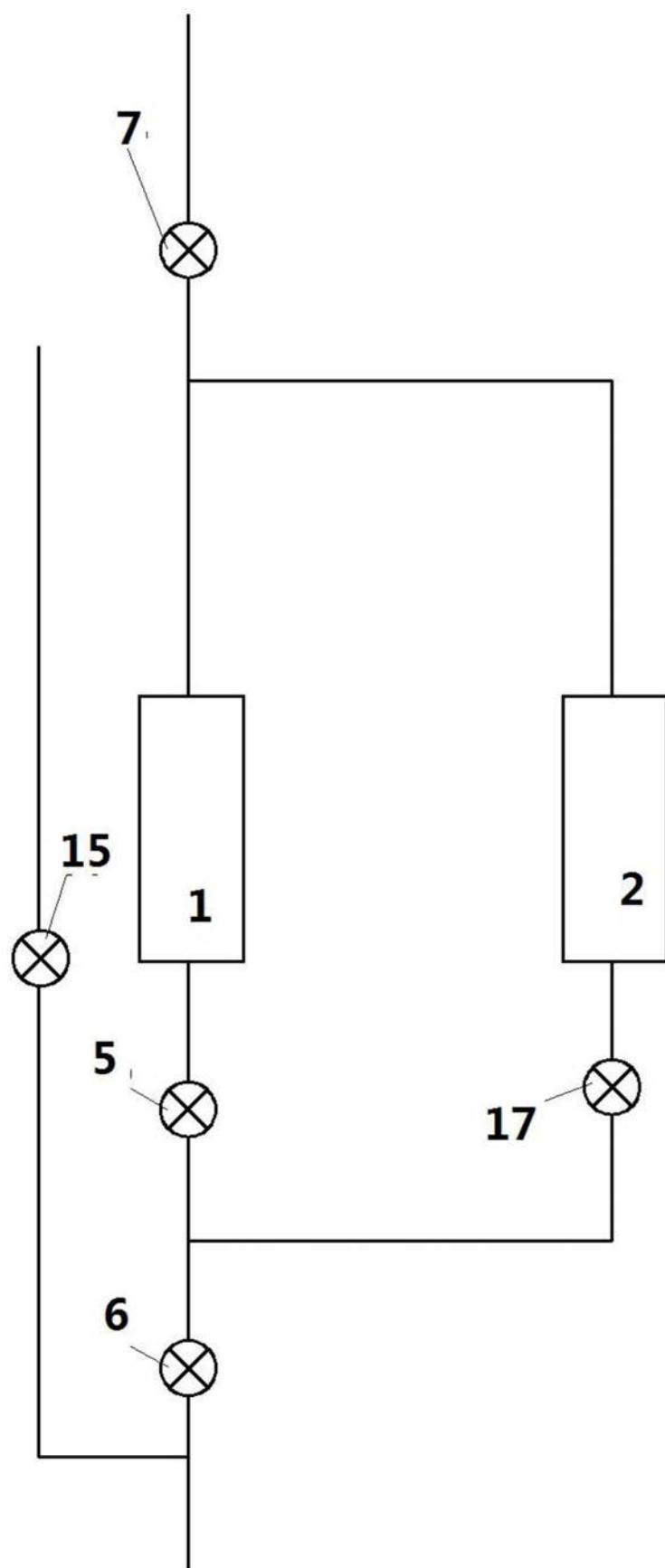


图8