

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102401589 A

(43) 申请公布日 2012. 04. 04

(21) 申请号 201110371010. 2

(22) 申请日 2011. 11. 21

(71) 申请人 昆明理工大学

地址 650093 云南省昆明市五华区学府路
253 号

(72) 发明人 王辉涛 陈蓉 王华 张竹明
葛众

(51) Int. Cl.

F28D 15/02(2006. 01)

F01K 11/02(2006. 01)

F01K 25/10(2006. 01)

F01K 17/02(2006. 01)

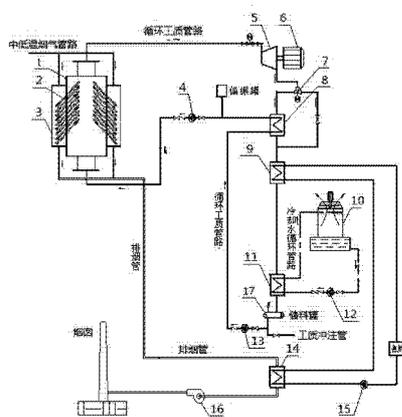
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

(54) 发明名称

套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统

(57) 摘要

本发明提供一种套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统,属于能源与环境技术领域。包括热管换热系统、有机朗肯循环的工质循环回路、中低温烟气排烟管路、供热热水回路和冷却水回路,采用热管替代锅炉的上升管及下降管,热管换热系统包括热管、烟气换热器和锅筒,烟气换热器和锅筒为立式一体化套管结构,管式烟气换热器外套于锅筒上,热管倾斜设置于烟气换热器和锅筒中,其下部置于烟气换热器中、上部置于锅筒中,使用甲苯、三氟二氯乙烷、丙烷、五氟丙烷等作循环工质,热管工作液采用 20% 热管体积的软化脱盐水。具有蒸汽发生器所占空间小、有效工作热管短、热量损失小、换热效率高等优点,可根据供热负荷需求调节有机朗肯循环的排气回热量。



1. 一种套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统,其特征在于:包括热管换热系统,有机工质朗肯循环回路,中低温烟气排烟管路,供热热水回路和冷却水回路;热管换热系统包括热管(2)、烟气换热器(3)和锅筒(1),烟气换热器(3)和锅筒(1)为立式一体化套管结构,管式烟气换热器(3)外套于锅筒(1)上;热管(2)倾斜设置于烟气换热器(3)和锅筒(1)中,其下段置于烟气换热器(3)中、上段置于锅筒(1)中;有机工质朗肯循环回路由储液罐(17)、加压泵(13)、排气回热加热器(8)、有机工质循环泵(4)、锅筒(1)、透平(5)、三通调节阀(7)、热水加热器(9)、凝结器(11)、以及将它们连接的管道构成,加压泵(13)经管道连接于储液罐(17)出口与排气回热加热器(8)内换热管入口之间,循环泵(4)经管道连接于排气回热加热器(8)内换热管出口与锅筒(1)入口之间,锅筒(1)上部经管道与透平(5)进口连接,透平(5)出口经三通调节阀(7)分别与排气回热加热器(8)进气口和热水加热器(9)进气口连接,凝结器(11)的进气口和出气口经管道分别与热水加热器(9)出气口和储液罐(17)入口连接;中低温烟气排烟管路由烟气换热器(3)、热水预热器(14)、排烟风机(16)、以及将它们连接的管道构成,烟气换热器(3)入口接中低温烟气管道、出口经管道接热水预热器(14)进气口,热水预热器(14)出气口经排烟风机(16)和管道与烟囱连接;供热热水回路由热水预热器(14)内换热管、回水泵(15)、热用户、热水加热器(9)内换热管、以及将它们依次连接的管道构成;冷却水回路由冷却塔(10)、冷却水循环泵(12)、凝结器(11)、以及将它们连接的管道构成,冷却水循环泵(12)经管道连于凝结器(11)内换热管入口和冷却塔(10)底部出口之间,凝结器(11)内换热管出口与冷却塔(10)上端布水管连接。

2. 根据权利要求1所述的套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统,其特征是:有机朗肯循环工质为甲苯、三氟二氯乙烷、丙烷、五氟丙烷、戊烷、异戊烷、正戊烷、正己烷、丁烷、异丁烷、四氟乙烷中的任一种或几种的任意混合物。

3. 根据权利要求1所述的套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统,其特征是:热管(2)为蒸发段和冷凝段上设有强化传热的翅片的热虹吸管,其垂直倾斜角度为 $30 \sim 60^\circ$ 。

4. 根据权利要求3所述的套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统,其特征是:热管(2)内工作液的数量为热管内腔体积的15-30%。

5. 根据权利要求3所述的套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统,其特征是:热管(2)内的工作液为软化脱盐水。

套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统,属于能源与环境技术领域。

背景技术

[0002] 目前,中低温烟气余热发电系统采用锅炉的上升管和下降管进行换热,其在使用一定时间后,会因与烟气的长时接触而发生腐蚀和破裂,使有机工质泄露到烟道中,导致有机工质的浪费和换热效率的下降,而锅炉的上升管和下降管的更换非常困难,不利于系统的正常运行和成本控制。

[0003] 热管是热管换热器的最基本元件,从其外观来看,通常是一根有翅片或无翅片的普通圆管,其主要结构特点表现在管内。热管由管壳、毛细多孔材料(管芯)和蒸汽腔(蒸汽通道)所组成。从传热状况看,热管沿轴向可分为蒸发段、绝热段和冷凝段三部分。工作时,蒸发段因受热而使其毛细材料中的工作液体蒸发,蒸汽流向冷凝段,在这里由于受到冷却使蒸汽凝结成液体,液体再沿多孔材料靠毛细力作用流回蒸发段。如此循环不已,热量由热管的一端传至另一端。由于汽化潜热大,所以在极小的温差下就能把大量的热量从热管的蒸发段传至冷凝段。

[0004] 热管的管芯是一种紧贴管壳内壁的毛细结构,通常用多层金属丝网或纤维、布等以衬里形式紧贴内壁以减少接触热阻,衬里也可由多孔陶瓷或烧结金属构成。性能优良的管芯应具有:

① 足够大的毛细抽吸压头;② 较小的液体流动阻力,既有较高的渗透率;③ 良好的传热特性,即有较小的径向热阻。因而,管芯的结构有很多种,大致可分为以下几类:① 紧贴管壁的单层及多层网芯;② 烧结粉末管芯,它是由一定目数的金属粉末或金属丝网烧结在管内壁面而成;③ 轴向槽道式管芯,它是在管壳内壁开轴向细槽,以提供毛细压头及液体回流通道,槽的截面形状可有矩形,梯形等多种;④ 组合管芯。一般管芯往往不能同时兼顾毛细抽吸力及渗透率,组合管芯既能兼顾毛细力和渗透率,从而获得高的轴向传热能力,而且大多数管芯的径向热阻甚小。他基本上把管芯分成两部分,一部分起毛细抽吸作用,一部分起液体回流通道作用。

[0005] 热管的工作液要有较高的汽化潜热、导热系数,合适的饱和压力及沸点,较低的粘度及良好的稳定性。工作液体还应有较大的表面张力和润湿毛细结构的能力,使毛细结构能对工作液作用并产生必须的毛细力。工作液还不能对毛细结构和管壁产生溶解作用,否则被溶解的物质将积累在蒸发段破坏毛细结构。

[0006] 由于热管结构和工作液工作的优点,将其用于替代锅炉的上升管和下降管,不仅可以大大提高锅炉的工作效率,使蒸汽温度更高,而且能够避免烟道内有机工质管子因长期受烟气冲刷而腐蚀破裂、导致有机工质泄露和换热效率下降等问题。

发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统,通过热管替代锅炉的上升管和下降管,采用锅筒和烟气换热器为一体的套管式热管换热系统,减小占地空间和热管与空气换热损失,避免因烟气腐蚀而导致的换热效率下降和工质泄漏等。

[0008] 本发明的技术方案是:套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统,包括热管换热系统,有机工质朗肯循环回路,中低温烟气排烟管路,供热热水回路和冷却水回路;热管换热系统包括热管 2、烟气换热器 3 和锅筒 1,烟气换热器 3 和锅筒 1 为立式一体化套管结构,管式烟气换热器 3 外套于锅筒 1 上;热管 2 倾斜设置于烟气换热器 3 和锅筒 1 中,其下段置于烟气换热器 3 中、上段置于锅筒 1 中;有机工质朗肯循环回路由储液罐 17、加压泵 13、排气回热加热器 8、有机工质循环泵 4、锅筒 1、透平 5、三通调节阀 7、热水加热器 9、凝结器 11、以及将它们连接的管道构成,加压泵 13 经管道连接于储液罐 17 出口与排气回热加热器 8 内换热管入口之间,循环泵 4 经管道连接于排气回热加热器 8 内换热管出口与锅筒 1 入口之间,锅筒 1 上部经管道与透平 5 进口连接,透平 5 出口经三通调节阀 7 分别与排气回热加热器 8 进气口和热水加热器 9 进气口连接,凝结器 11 的进气口和出气口经管道分别与热水加热器 9 出气口和储液罐 17 入口连接;中低温烟气排烟管路由烟气换热器 3、热水预热器 14、排烟风机 16、以及将它们连接的管道构成,烟气换热器 3 入口接中低温烟气管道、出口经管道接热水预热器 14 进气口,热水预热器 14 出气口经排烟风机 16 和管道与烟囱连接;供热热水回路由热水预热器 14 内换热管、回水泵 15、热用户、热水加热器 9 内换热管、以及将它们依次连接的管道构成;冷却水回路由冷却塔 10、冷却水循环泵 12、凝结器 11、以及将它们连接的管道构成,冷却水循环泵 12 经管道连于凝结器 11 内换热管入口和冷却塔 10 底部出口之间,凝结器 11 内换热管出口与冷却塔 10 上端布水管连接。

[0009] 所述有机朗肯循环工质为甲苯、三氟二氯乙烷(R123)、丙烷(R290)、五氟丙烷(R245fa)、戊烷(R601)、异戊烷(R601a)、正戊烷(C_5H_{12})、正己烷(C_6H_{14})、丁烷(R600)、异丁烷(R600a)、四氟乙烷(R134a)中的一种或几种的任意混合物,根据实际需要具体选择。

[0010] 所述热管 2 为蒸发段和冷凝段上设有强化传热的翅片的热虹吸管,其垂直倾斜角为 $30 \sim 60^\circ$ (热虹吸管与垂直方向之间的夹角)。热虹吸管的倾斜角度、长度和翅片的数量,均根据实际需要具体确定。

[0011] 所述热管 2 内工作液的数量为热管内腔体积的 $15 \sim 30\%$,具体根据实际需要确定,工作液为软化脱盐水。

[0012] 本发明依据有机朗肯循环系统选定的工质种类,按需要的发电容量及供热负荷配备并安装锅筒、热管、烟气换热器、有机工质循环泵、工质加压泵、排气回热加热器、透平、励磁发电机、供热水加热器、凝结器、热水预热器、排烟风机、冷却塔等设备及其管路及配件;根据有机朗肯循环的管路容积计算循环工质的充注量,将循环工质计量充入循环管路中。

[0013] 本发明的工作原理是:热管 2 的下段(蒸发段)置于烟气换热器 3 中,使得从锅炉引过来的中低温烟气的热量传给热管的蒸发段,热管 2 中的工作液被加热蒸发,流向热管 2 的上段(冷凝段),在热管 2 冷凝段将其热量传给锅筒 1 中的循环有机工质,之后热管 2 中的工作液被冷却又流回蒸发段;从储液罐 17 出来的液体工质经工质加压泵 13 加压至蒸发压力,进入排气回热加热器 8 中预热,预热后的低温有机工质,经有机工质循环泵 4 加压进入锅筒 1 与热管 2 冷凝段进行热交换,使低温有机工质被加热蒸发,有机工质在锅筒 1 中进行汽水

分离,有机工质蒸汽就从锅筒 1 的上部流出,送入透平(膨胀机) 5 做功输出轴功,驱动励磁发电机 6 发电,乏汽则经分流三通调节阀 7 分两路:一路进排气回热加热器 8 预热从储液罐 17 出来经工质加压泵 13 加压至蒸发压力来的液态工质、另外一路直接与从排气回热加热器 8 出来的工质蒸气混合进入供热水加热器 9 加热循环热水,之后进入凝结器 11 冷凝,流入工质储液罐 17,完成一次循环;把锅炉中低温烟气引入热管 2 的下段(蒸发段)进行热交换,之后进入热水预热器 14 对回水预热,最后经排烟风机 16 加压排至烟囱;从热用户来的回水经回水泵 15 输送至热水预热器 14 预热,之后进入热水加热器 9 完成热水的加热过程;从冷却塔 10 来的冷却水经冷却水循环泵 12 输送至有机朗肯循环的凝结器 11,完成对循环工质乏汽的凝结,之后返回冷却塔 10 布水管,经冷却后集于塔底集水盘,完成一个循环。通过透平乏汽管路上设置的分流三通调节阀 7,可根据用户对供热负荷的需求调节有机朗肯循环的排气回热量。

[0014] 本系统采用热管替代锅炉的上升管和下降管,配合锅筒与烟气换热器为一体的套管式换热系统和有机工质朗肯循环回路,形成中低温烟气余热发电和联产供热系统,与现有技术相比,具有以下有益效果:

(1) 采用锅筒与烟气换热器为一体的套管式换热系统,大大缩小了蒸汽发生器的占地空间,缩短了有效工作热管长度,避免了热管与空气的换热,使热量损失大大减少;同时,立式倾斜设置的热管还增大了换热面积,使换热效率得到了进一步提高;

(2) 强化了烟气、有机工质和热管内水的传热,提高了换热效率,使有机工质能够很有效地达到蒸发标准;

(3) 安全可靠和高效率地将中低温烟气余热转换为高品位的电能,并可以同时提供用于生活热水等所需热能;

(4) 极大地降低了热电联供过程环害物质 CO_x 、 SO_x 的产生与排放;

(5) 便于实现个性化的分布式热电联供系统,整个系统对热能的利用比较充分,满足现代化的工艺要求。

附图说明

[0015] 图 1 为本发明系统示意图。

[0016] 图中:1-锅筒;2-热虹吸管;3-烟气换热器;4-工质循环泵;5-透平(膨胀机);6-励磁发电机;7-三通调节阀;8-排气回热加热器;9-热水加热器;10-冷却塔;11-凝结器;12-冷却水循环泵;13-工质加压泵;14-热水预热器;15-回水泵;16-排烟风机;17-储液罐。

具体实施方式

[0017] 以下结合附图和实施例,对本发明作进一步阐述,但本发明的保护范围不限于所述内容。

[0018] 实施例 1:某钢铁厂高线三段式步进加热炉,建一套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电联供户式系统,电机输出功率为 10Kw,供应 45 ~ 50℃卫生热水 6001/d。

[0019] 本套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统,包括热管换热系统,有机工质朗肯循环回路,中低温烟气排烟管路,供热热水回路和冷却水回路;热管换热系统包括

热管 2、烟气换热器 3 和锅筒 1, 烟气换热器 3 和锅筒 1 为立式一体化套管结构, 管式烟气换热器 3 外套于锅筒 1 上; 热管 2 为蒸发段和冷凝段上设有强化传热的翅片的热虹吸管, 其垂直倾斜 60° 设置于烟气换热器 3 和锅筒 1 中(下段置于烟气换热器 3 中、上段置于锅筒 1 中); 有机工质朗肯循环回路由储液罐 17、加压泵 13、排气回热加热器 8、有机工质循环泵 4、锅筒 1、透平 5、三通调节阀 7、热水加热器 9、凝结器 11、以及将它们连接的管道构成, 加压泵 13 经管道连接于储液罐 17 出口与排气回热加热器 8 内换热管入口之间, 循环泵 4 经管道连接于排气回热加热器 8 内换热管出口与锅筒 1 入口之间, 锅筒 1 上部经管道与透平 5 进口连接, 透平 5 出口经三通调节阀 7 分别与排气回热加热器 8 进气口和热水加热器 9 进气口连接, 凝结器 11 的进气口和出气口经管道分别与热水加热器 9 出气口和储液罐 17 入口连接; 中低温烟气排烟管路由烟气换热器 3、热水预热器 14、排烟风机 16、以及将它们连接的管道构成, 烟气换热器 3 入口接中低温烟气管道、出口经管道接热水预热器 14 进气口, 热水预热器 14 出气口经排烟风机 16 和管道与烟囱连接; 供热热水回路由热水预热器 14 内换热管、回水泵 15、热用户、热水加热器 9 内换热管、以及将它们依次连接的管道构成; 冷却水回路由冷却塔 10、冷却水循环泵 12、凝结器 11、以及将它们连接的管道构成, 冷却水循环泵 12 经管道连于凝结器 11 内换热管入口和冷却塔 10 底部出口之间, 凝结器 11 内换热管出口与冷却塔 10 上端布水管连接。

[0020] 本系统热管 2 中的工作液为汽化潜热和导热系数较高、饱和压力及沸点适度、粘度较低、稳定性良好、且有较大表面张力和润湿毛细结构能力的软化脱盐水。根据烟气流 50000kg/h、温度 573K、 $C_p 1\text{kg}/(\text{kJ}\cdot\text{K})$, 热管 2 采用两相热虹吸管, 共 950 根, 每根管长 5m、上下段上分别有 40 片强化传热翅片, 管内灌有 20%V (热管体积) 的软化脱盐水。热管 2 内的水在蒸发段吸收中低温烟气的热量而使其毛细材料中的水蒸发, 蒸汽流向冷凝段, 在冷凝段与锅筒 1 的有机工质进行热交换, 由于受到冷却使蒸汽凝结成液体, 工作液体水再沿多孔材料靠毛细力作用流回蒸发段。

[0021] 本系统有机朗肯循环工质采用三氟二氯乙烷(R123); 锅筒 1 的壁厚为 16mm、直径为 1200mm; 膨胀机 5 采用 IT10 螺杆式膨胀机, 净输出功率为 10Kw, 进口工质压力为 1.0MPa, 温度 110°C ; 排气回热加热器 8、热水加热器 9、凝结器 11 均采用板式换热器; 工质加压泵 13 采用高压屏蔽泵。按储液罐 17 出口—有机工质加压泵 13—排气回热加热器 8—有机工质循环泵 4—锅筒 1—透平(膨胀机)5—励磁发电机 6—排气回热加热器 8—热水加热器 9—凝结器 11—储液罐 17 进口的顺序, 用紫铜管及相关配件将各装置连接, 形成有机朗肯循环工质回路。

[0022] 本系统供热水回路采用 PPR 热水管, 按回水泵 15 出口—热水预热器 14—热水加热器 9—回水泵 15 进口的顺序, 用无缝钢管及相关配件将各装置连接, 形成供热水回路。冷却塔 10 选用冷却水循环流量为 $20\text{m}^3/\text{h}$ 的低温型冷却塔 LBCM-20, 冷却水循环泵选用 12KQL50/100-1.1/2 型号, 冷却水管路, 按冷却塔 10 出口—冷却水循环泵 12—凝结器 11—冷却塔 10 进口的顺序, 采用无缝钢管及相关配件将各装置连接, 形成冷却水回路。

[0023] 本系统通过中低温烟气管道, 把锅炉中低温烟气引入热管 2 的下段(蒸发段)进行热交换, 之后进入热水预热器 14 对回水预热, 最后经排烟风机 16 加压排至烟囱, 形成中低温烟气排烟管路。中低温烟气排烟管道用 2mm 热轧钢板焊接而成, 烟囱为直径 300mm 的钢制结构, 按烟气换热器 3—热水预热器 14—排烟风机 16—烟囱的顺序, 安装烟气管路。

[0024] 本系统所有设备配件按图 1 连接,安装完成后,进行管道的氮气吹扫,对有机朗肯循环系统抽真空,并分别按要求向相应管路内充入 R123 及自来水。

[0025] 实施例 2:本套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统与实施例 1 相同,所采用的有机朗肯循环工质为丙烷 R290;热虹吸管垂直倾斜 30° 设置,采用两相热虹吸管、共 1000 根,每根管长 4.5m、上下段上分别有 32 片强化传热翅片;热虹吸管内灌有 25%V (热管体积) 的软化脱盐水。

[0026] 实施例 3:本套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统与实施例 1 相同,所采用的有机朗肯循环工质为甲苯、戊烷 R601、四氟乙烷 R134a,分别按 30%、25%、45% 的体积比混合而成;热虹吸管垂直倾斜 50° 设置,采用两相热虹吸管、共 900 根,每根管长 5.5m、上下段上分别有 48 片强化传热翅片;热虹吸管内灌有 30%V (热管体积) 的软化脱盐水。

[0027] 实施例 4:本套管式热管有机介质蒸发中低温烟气余热发电系统与实施例 1 相同,所采用的有机朗肯循环工质为甲苯、三氟二氯乙烷(R123)、丙烷(R290)、五氟丙烷(R245fa)、戊烷(R601)、异戊烷(R601a)、正戊烷(C_5H_{12})、正己烷(C_6H_{14})、丁烷(R600)、异丁烷(R600a)、四氟乙烷 R134a,分别按 10%、15%、5%、6%、8%、11%、5%、7%、5%、18%、10% 的体积比混合而成;热虹吸管垂直倾斜 40° 设置,采用两相热虹吸管、共 1100 根,每根管长 4m、上下段上分别有 24 片强化传热翅片;热虹吸管内灌有 15%V (热管体积) 的软化脱盐水。

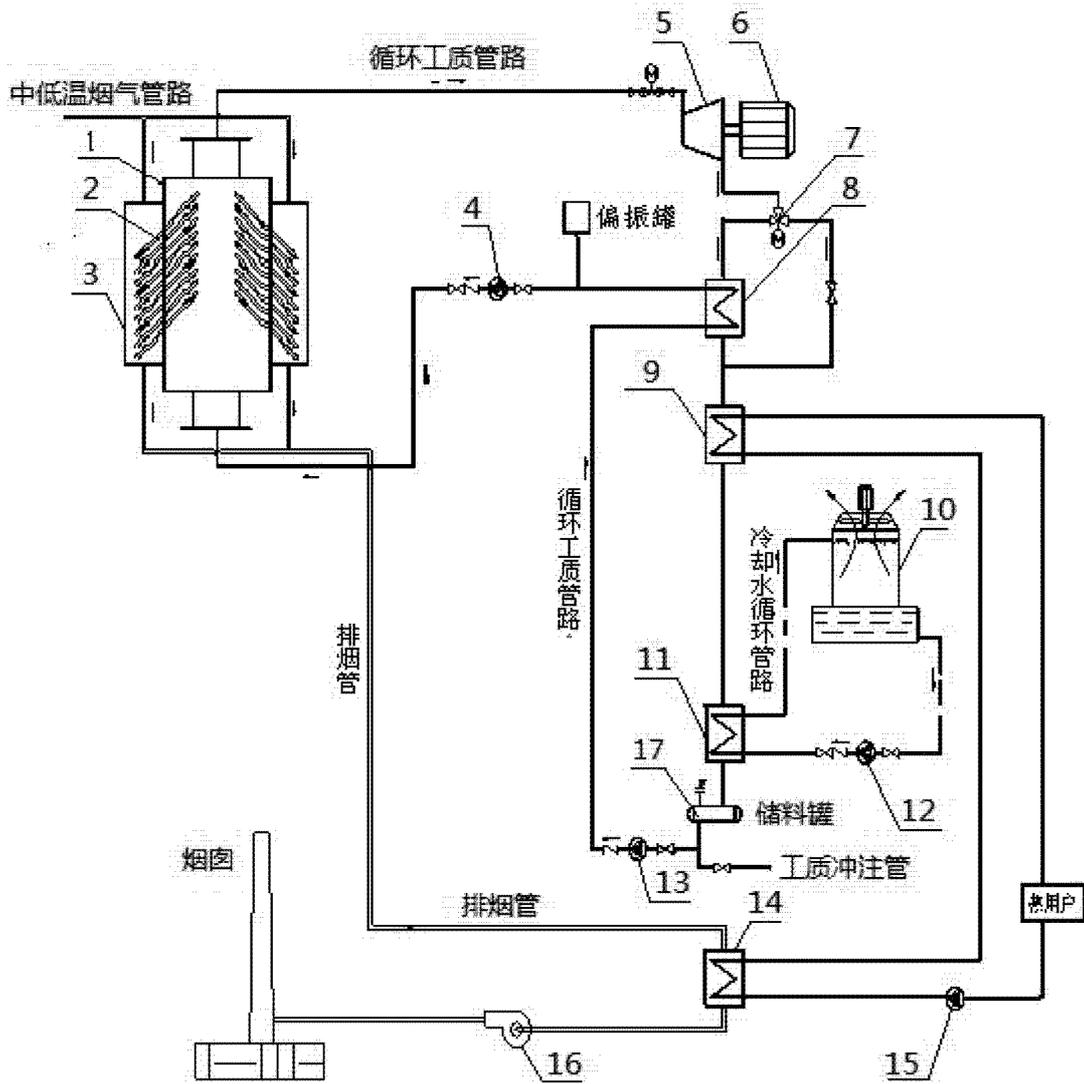


图 1