(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109539851 A
(43)申请公布日 2019.03.29

(21)申请号 201811594514.9

(22)申请日 2018.12.25

(71)申请人 陕西大秦环境科技有限公司
地址 710054 陕西省西安市高新区锦业路与丈八一路十字东北角旺都第一幢D座4单元22层

(72)发明人 郭小虎 杜媛 李军民 李媛 谭月 张小龙

(74)专利代理机构 合肥顺超知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 34120
代理人 周发军

(51)Int.Cl.
F28D 21/00(2006.01)
F28F 27/00(2006.01)

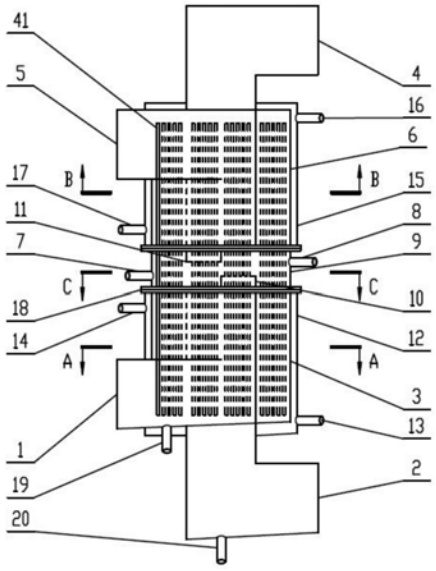
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

一种模块化自调节式热管烟气余热回收系统

(57)摘要

一种模块化自调节式热管烟气余热回收系统，包括有热管换热器模块、气气换热系统、气水换热系统。烟气余热回收系统适应性强，可根据气气、气水换热的不同负荷要求，灵活组合与布置换热模块，满足不同设计条件下的烟气余热回收换热要求。烟气余热回收系统可调节性强，通过水换热模块水量易调节和热管快速均温的特性，控制烟气余热回收系统热量与质量平衡，达到最优的余热回收效果。烟气余热回收系统余热利用率高，利用烟气旋流、热管高导热性能、水夹套、真空夹套等强化措施减少热量损失，提升烟气余热回收系统换热效率。



CN 109539851 A

1.一种模块化自调节式热管烟气余热回收系统,其特征在于:包括有热管换热器模块、气气换热系统、气水换热系统;

所述热管换热器模块包括有气体换热模块A、气体换热模块B和气体换热模块C;所述气体换热模块A位于下方,所述气体换热模块C位于中部,所述气体换热模块B位于上方;所述气体换热模块A、气体换热模块B和气体换热模块C通过管法兰(18)紧密连接成一体;

所述气气换热系统包括有热水箱(34),循环水泵(35),冷却器(36),供热换热器(37),调节水箱(38)和引风机(39);所述气体换热模块C的循环水出口(8)连接于热水箱(34,热水箱(34)用于储存系统内热水;热水箱(34)连接于循环水泵(35),循环水泵(35)分别连接于冷却器(36)或供热换热器(37);循环热水通过循环水泵(35)送入冷却器(36),或送入供热换热器(37)对外部用户供热;冷却器(36)和供热换热器(37)汇入调节水箱(38);调节水箱(38)分别连接于热水箱(34)和循环水入口(7);

所述气水换热系统包括有热水箱(53),循环水泵(54),冷却器(55),供热换热器(56),调节水箱(57),引风机(58);所述气体换热模块C的循环水出口(8)连接于热水箱(53),热水箱(53)用于储存系统内热水;热水箱(53)连接于循环水泵(54),循环水泵(54)连接于冷却器(55)和供热换热器(56),循环热水通过循环水泵(54)送入冷却器(55),或者送入供热换热器(56)对外部用户供热;冷却器(55)和供热换热器(56)汇入调节水箱(57)。

2.根据权利要求1所述的模块化自调节式热管烟气余热回收系统,其特征在于:所述气体换热模块A包括有烟气入口(1),烟气出口(2),气体换热模块(3),夹套(12),夹套循环水出口(13),夹套循环水入口(14),管法兰(18),排液管(19、20)和热管(21);所述气体换热模块(3)的一侧设有烟气入口(1),热烟气从烟气入口(1)进入气体换热模块(3),所述气体换热模块(3)内部设有螺旋通道,热烟气经由螺旋通道螺旋上升,与气体换热模块(3)外螺旋结构处均布的热管(21)发生对流传热与热辐射;烟气流动至顶端后切向进入气体换热模块(3)内侧筒体,沿反方向螺旋下降,从烟气出口(2)流出气体换热模块(3);所述气体换热模块(3)为内外双筒结构,顶部内筒体的壁面处开孔;气体换热模块(3)外部设有夹套(12),夹套(12)上设置夹套循环水进口(14)和夹套循环水出口(13);所述气体换热模块(3)的底部设有使冷凝液排出的排液管(19、20)。

3.根据权利要求1所述的模块化自调节式热管烟气余热回收系统,其特征在于:所述气体换热模块B和所述气体换热模块A的结构相同。

4.根据权利要求1所述的模块化自调节式热管烟气余热回收系统,其特征在于:气体换热模块A和气体换热模块B外夹套出口处接至低温烟气烟道(43),引风机(39)形成负压使气体换热模块A和气体换热模块B外加套内为负压状态,加强了气体换热模块的保温效果,提升组合模块换热效率。

5.根据权利要求1所述的模块化自调节式热管烟气余热回收系统,其特征在于:所述气体换热模块C包括有循环水入口(7),循环水出口(8)和折流板(10、11);所述气体换热模块C的两侧设有循环水入口(7)和循环水出口(8)、并与所述气体换热模块C相通;所述气体换热模块C中部设有折流板(10、11),所述折流板(10、11)均为半圆形结构,折流板(11)与循环水出口(8)处于同一水平面,折流板(10)与循环水入口(7)处于同一水平面。

6.根据权利要求1所述的模块化自调节式热管烟气余热回收系统,其特征在于:所述气气换热系统还包括有调节水自控阀(40),冷却水自控阀(41)和水位控制阀(42);所述调节

水自控阀(40)根据高温烟气入口温度、流量调节循环水流量,控制空气出口温度;所述冷却水自控阀(41)根据热水箱(34)内水温控制冷却水流量,确保循环水系统整体的热平衡;所述水位控制阀(42)根据调节水箱(38)的液位控制阀门开关,用于异常情况循环水系统的停机操作。

7.根据权利要求1所述的模块化自调节式热管烟气余热回收系统,其特征在于:所述气水换热系统还包括调节水自控阀(59),冷却水自控阀(60),水位控制阀(61);所述调节水自控阀(59)根据高温烟气入口温度、流量调节循环水流量,控制空气出口温度;所述冷却水自控阀(60)根据热水箱(53)内水温控制冷却水流量,确保循环水系统整体的热平衡;所述水位控制阀(61)根据调节水箱(57)的液位控制阀门开关,用于异常情况循环水系统的停机操作。

8.一种模块化自调节式热管烟气余热回收系统的操作方法,其特征在于:

热烟气从烟气入口(1)进入气体换热模块(3),热烟气螺旋上升,与气体换热模块(3)外螺旋结构处均布的热管(21)发生对流传热与热辐射,烟气扰动加强了传热效果并使传热较为均匀;烟气流动至顶端后切向进入气体换热模块(3)内侧筒体,沿反方向螺旋下降,从烟气出口(2)流出气体换热模块(3);

循环水从循环水入口(7)进入气体换热模块C,循环水从热管(21)表面吸收热量,循环水水温上升,向上方流动,越过折流板(10),从循环水出口(8)流出水换热模块(C;)

水换热模块(A)吸收热烟气热量,水换热模块(B利用热烟气热量加热冷空气,气体换热模块C利用循环水调节气气换热组合模块换热负荷,控制热空气温度;热水箱(34)用于储存系统内热水,循环热水通过循环水泵(35)送入冷却器(36),或者送入供热换热器(37)对外部用户供热;冷却器(36)和供热换热器(37)处循环热水放热后汇入调节水箱(38)混合使其水温均一,压力稳定;调节水自控阀(40)根据高温烟气入口温度、流量调节循环水流量,控制空气出口温度;冷却水自控阀(41)根据热水箱(34)内水温控制冷却水流量,确保循环水系统整体的热平衡;水位控制阀(42)根据调节水箱(38)的液位控制阀门开关,用于异常情况循环水系统的停机操作;气体换热模块A和气体换热模块B外夹套出口处接至低温烟气烟道(43),引风机(39)形成负压使气体换热模块A和气体换热模块B外加套内为负压状态,加强了气体换热模块的保温效果,提升组合模块换热效率;

气体换热模块A吸收热烟气热量,气体换热模块C利用热烟气热量加热循环水,气体换热模块C出入口各支管处循环水阀门开关用于控制循环水流速,调整循环水与热管换热面积从而控制气水换热组合模块的换热效率;热水箱(53)用于储存系统内热水,循环热水通过循环水泵(54)送入冷却器(55),或者送入供热换热器(56)对外部用户供热;冷却器(55)和供热换热器(56)处循环热水放热后汇入调节水箱(57)混合使其水温均一,压力稳定;调节水自控阀(59)根据高温烟气入口温度、流量调节循环水流量,控制空气出口温度;冷却水自控阀(60)根据热水箱(53)内水温控制冷却水流量,确保循环水系统整体的热平衡;水位控制阀(61)根据调节水箱(57)的液位控制阀门开关,用于异常情况循环水系统的停机操作;气体换热模块A外夹套出口处均接至循环水系统,增大气水换热面积,通过加强热辐射和对流传热的方式提升组合模块换热效率。

一种模块化自调节式热管烟气余热回收系统

技术领域

[0001] 本发明涉及能源环保领域，尤其涉及烟气余热利用系统、热管换热装置及节能装置。

背景技术

[0002] 目前，我国能源结构主要为化石能源，包括煤炭、燃料油、天然气等，其余为非化石能 源，包括生物质、太阳能、风能等。化石能源及部分非化石能源在燃烧过程中释放大量热能， 燃烧后高温烟气会带走锅炉供热量的5％～15％(其中70％的热量可回收利用)。烟气余热的 回收利用对于提升锅炉效率，减少能源总消耗量具有重大意义。

[0003] 热导管(或称热管)是一种依靠自身内部工作液体相变来实现传热的元件，一般由管壳、吸液芯、工质组成。热管管壳通常由金属制成，两端焊有端盖，管壳内壁装有一层由多孔性 物质构成的管芯(若为重力式热管则无管芯)，管内抽真空后注入某种工质，然后密封。

[0004] 热管是具有快速均温特性的特殊材料，其中空的金属管体，使其具有质轻的特点，而其 快速均温的特性，则使其具有优异的热超导性能。热管的相当导热系数可达10^5W/m·℃的数 量级，热传导速率是铜、铝等金属的数百甚至上千倍。热管式换热器具有输热能力大、传热 方向可逆、热流密度可变、适应环境能力较强、阻力损失较小等优点，所以热管式换热器能 较大限度的回收利用低品位余热。

[0005] 烟气余热回收换热器按换热介质可分为气水换热器、气气换热器，其结构型式通常为热 冷介质在同一壳体内逆向或同向流动实现对流传热。分离式热管换热器在传统换热器的结构 基础上，利用热管快速均温的特性，采用分离式设计，分隔冷热流体使其分别位于换热器的 上、下部分，最终将换热器分为蒸发段、绝热段和冷凝段三个部分。

[0006] 当热源在蒸发段对其供热时，工质自热源吸热汽化变为蒸汽，蒸汽在压差的作用下沿中 间通道高速流向另一端，蒸汽在冷凝段向冷源放出潜热后冷凝成液体；工质在蒸发段蒸发时， 其气液交界面下凹，形成许多弯月形液面，产生毛细压力，液态工质在管芯毛细压力和重力 等的回流动力作用下又返回蒸发段，继续吸热蒸发，如此循环往复，工质的蒸发和冷凝便把 热量不断地从热端传递到冷端。

[0007] 热管换热器分隔冷热流体，中间通常由管板分隔，热管悬挂在管板上，该处可采用静密 封或焊接结构，视设计需要而定。热管换热器由于具有传热效率高、结构紧凑、压力损失小、有利于控制露点腐蚀等优点。

发明内容

[0008] 为了解决上述现有技术中存在的问题，本发明提供一种模块化自调节式热管烟气余热回 收系统。

[0009] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：一种模块化自调节式热管烟气余热回收系 统，包括有热管换热器模块、气气换热系统、气水换热系统。

[0010] 热管换热器模块包括有气体换热模块A、气体换热模块B和水换热模块C;气体换热模 块A位于下方,水换热模块C位于中部,气体换热模块B位于上方;气体换热模块A、气 体换热模块B和水换热模块C通过管法兰18紧密连接成一体。

[0011] 气气换热系统包括有热水箱34,循环水泵35,冷却器36,供热换热器37,调节水箱38和引风机39;水换热模块C的循环水出口8连接于热水箱34,热水箱34用于储存系统 内热水;热水箱34连接于循环水泵35,循环水泵35分别连接于冷却器36或供热换热器37; 循环热水通过循环水泵35送入冷却器36,或送入供热换热器37对外部用户供热;冷却器 36和供热换热器37汇入调节水箱38;调节水箱38分别连接于热水箱34和循环水入口7。

[0012] 气水换热系统包括有热水箱53,循环水泵54,冷却器55,供热换热器56,调节水箱57,引风机58;水换热模块C的循环水出口8连接于热水箱53,热水箱53用于储存系统 内热水;热水箱53连接于循环水泵54,循环水泵54连接于冷却器55和供热换热器56,循 环热水通过循环水泵54送入冷却器55,或者送入供热换热器56对外部用户供热;冷却器 55和供热换热器56汇入调节水箱57。

[0013] 作为本技术方案进一步优化的:气体换热模块A包括有烟气入口1,烟气出口2,气体 换热模块3,夹套12,夹套循环水出口13,夹套循环水入口14,管法兰18,排液管19、20 和热管21;气体换热模块3的一侧设有烟气入口1,热烟气从烟气入口1进入气体换热模块 3,气体换热模块3内部设有螺旋通道,热烟气经由螺旋通道螺旋上升,与气体换热模块3 外螺旋结构处均布的热管21发生对流传热与热辐射;烟气流动至顶端后切向进入气体换热 模块3内侧筒体,沿反方向螺旋下降,从烟气出口2流出气体换热模块3;气体换热模块3 为内外双筒结构,顶部内筒体的壁面处开孔;气体换热模块3外部设有夹套12,夹套12上 设置夹套循环水进口14和夹套循环水出口13;气体换热模块3的底部设有使冷凝液排出的 排液管19、20。

[0014] 作为本技术方案进一步优化的:气体换热模块B和气体换热模块A的结构相同。

[0015] 作为本技术方案进一步优化的:气体换热模块A和气体换热模块B外夹套出口处接至 低温烟气烟道43,引风机39形成负压使气体换热模块A和气体换热模块B外加套内为负压状态,加强了气体换热模块的保温效果,提升组合模块换热效率。

[0016] 作为本技术方案进一步优化的:水换热模块C包括有循环水入口7,循环水出口8和折 流板10、11;水换热模块C的两侧设有循环水入口7和循环水出口8、并与水换热模块C 相通;水换热模块C中部设有折流板10、11,折流板10、11均为半圆形结构,折流板11 与循环水出口8处于同一水平面,折流板10与循环水入口7处于同一水平面。

[0017] 作为本技术方案进一步优化的:气气换热系统还包括有调节水自控阀40,冷却水自控 阀41和水位控制阀42;调节水自控阀40根据高温烟气入口温度、流量调节循环水流量, 控制空气出口温度;冷却水自控阀41根据热水箱34内水温控制冷却水流量,确保循环水系 统整体的热平衡;水位控制阀42根据调节水箱38的液位控制阀门开关,用于异常情况循环 水系统的停机操作。

[0018] 作为本技术方案进一步优化的:气水换热系统还包括调节水自控阀59,冷却水自控阀 60,水位控制阀61;调节水自控阀59根据高温烟气入口温度、流量调节循环水流量,控制 空气出口温度;冷却水自控阀60根据热水箱53内水温控制冷却水流量,确保循环水系统整 体的热平衡;水位控制阀61根据调节水箱57的液位控制阀门开关,用于异常情况循环水

系 统的停机操作。

[0019] 本发明和现有技术相比，其优点在于：

[0020] (1)可用于烟气余热回收系统，通过灵活组合气体换热模块、水换热模块，可实现不 同设计条件下烟气余热的高效再利用。

[0021] (2)可调节性强，通过水换热模块水量易调节和热管快速均温的特性，控制烟气余热 回收系统热量与质量平衡，达到最优的余热回收效果。

[0022] (3)利用气体旋流、热管高导热性能、水夹套、真空夹套等强化措施加强传热效率，降低热量损失，具有较高的余热回收效率。

[0023] (4)具有换热效率高，性能可靠，调节灵活，便于维护，具有很好的节能效果和经济效益。

[0024] (5)烟气余热回收系统适应性强，可根据气气、气水换热的不同负荷要求，灵活组合 与布置换热模块，满足不同设计条件下的烟气余热回收换热要求。烟气余热回收系统可调节 性强，通过水换热模块水量易调节和热管快速均温的特性，控制烟气余热回收系统热量与质 量平衡，达到最优的余热回收效果。烟气余热回收系统余热利用率高，利用烟气旋流、热管 高导热性能、水夹套、真空夹套等强化措施减少热量损失，提升烟气余热回收系统换热效率。

[0025] 本发明的附加方面和优点将在下面的描述中部分给出，部分将从下面的描述中变得明显，或通过本发明的实践了解到。

附图说明

[0026] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术 描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一 些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些 附图获得其他的附图。

[0027] 图1为本发明热管换热器模块结构示意图；

[0028] 图2为本发明气体换热模块A、气体换热模块B和水换热模块C的切面结构示意图；

[0029] 图3为本发明模块化自调节式热管烟气余热回收系统(气气换热系统)结构示意图；

[0030] 图4为本发明模块化自调节式热管烟气余热回收系统(气水换热系统)结构示意图；

[0031] 附图标记说明：1、烟气入口；2、烟气出口；3,6、气体换热模块；4、空气入口；5、 空气出口；7、循环水入口；8、循环水出口；9、水换热模块；10、11、折流板；12、15、 夹套；13、16、夹套循环水出口；14、17、夹套循环水入口；18、管法兰；19、20、排液管； 21、热管；31,32、气体换热模块；33、水换热模块；34、热水箱；35、循环水泵；36、冷 却器；37、供热换热器；38、调节水箱；39、引风机；40、调节水自控阀；41、冷却水自控 阀；42、水位控制阀；51、气体换热模块；52、水换热模块；53、热水箱；54、循环水泵； 55、冷却器；56、供热换热器；57、调节水箱；58、引风机；59、调节水自控阀；60、冷却 水自控阀；61、水位控制阀。

具体实施方式

[0032] 下面将参照附图更详细地描述本发明公开的示例性实施例，这些实施例是为了能够更透 彻地理解本发明，并且能够将本发明公开的范围完整的传达给本领域的技术人员。虽然附图 中显示了本发明公开的示例性实施例，然而应当理解，本发明而不应被这里阐述的实施例所 限制。

[0033] 在本发明的描述中，需要理解的是，术语“纵向”、“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、 “右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示 的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具 有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。

[0034] 此外，术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对 重要性。同时，在本发明的描述中，除非另有明确的规定和限定，术语“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， 也可以是电性连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连。对于本领域的普通技 术人员而言，可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0035] 一种模块化自调节式热管烟气余热回收系统，包括有热管换热器模块、气气换热系统、气水换热系统。

[0036] 热管换热器模块包括有气体换热模块A、气体换热模块B和水换热模块C；气体换热模 块A位于下方，水换热模块C位于中部，气体换热模块B位于上方；气体换热模块A、气 体换热模块B和水换热模块C通过管法兰18紧密连接成一体。

[0037] 气体换热模块A包括有烟气入口1，烟气出口2，气体换热模块3，夹套12，夹套循环水出口13，夹套循环水入口14，管法兰18，排液管19、20，热管21。气体换热模块3的 一侧设有烟气入口1，热烟气从烟气入口1进入气体换热模块3，气体换热模块3内部设有 螺旋通道，热烟气经由螺旋通道螺旋上升，与气体换热模块3外螺旋结构处均布的热管21 发生对流传热与热辐射；烟气流动至顶端后切向进入气体换热模块3内侧筒体，沿反方向螺 旋下降，从烟气出口2流出气体换热模块3；气体换热模块3为内外双筒结构，顶部内筒体 的壁面处开孔；气体换热模块3外部设有夹套12，夹套12上设置夹套循环水进口14和夹 套循环水出口13；气体换热模块3的底部设有使冷凝液排出的排液管19、20。

[0038] 气体换热模块B和气体换热模块A的结构相同。气体换热模块A和气体换热模块B外夹套出口处接至低温烟气烟道43，引风机39形成负压使气体换热模块A和气体换热模块B外加套内为负压状态，加强了气体换热模块的保温效果，提升组合模块换热效率。

[0039] 水换热模块C包括有循环水入口7，循环水出口8，折流板10、11；水换热模块C的两侧设有循环水入口7和循环水出口8、并与水换热模块C相通；水换热模块C中部设有折 流板10、11，折流板10、11均为半圆形结构，折流板11与循环水出口8处于同一水平面， 折流板10与循环水入口7处于同一水平面。

[0040] 气气换热系统包括有热水箱34，循环水泵35，冷却器36，供热换热器37，调节水箱38，引风机39，调节水自控阀40，冷却水自控阀41，水位控制阀42；调节水自控阀40根 据高温烟气入口温度、流量调节循环水流量，控制空气出口温度；冷却水自控阀41根据热 水箱34内水温控制冷却水流量，确保循环水系统整体的热平衡；水位控制阀42根据调节水 箱38的液位控制阀门开关，用于异常情况循环水系统的停机操作；

[0041] 水换热模块C的循环水出口8连接于热水箱34，热水箱34用于储存系统内热水；热水 箱34连接于循环水泵35，循环水泵35分别连接于冷却器36或供热换热器37；循环热水通过循环水泵35送入冷却器36，或送入供热换热器37对外部用户供热；冷却器36和供热换 热器37汇入调节水箱38；调节水箱38分别连接于热水箱34和循环水入口7；

[0042] 气水换热系统包括有热水箱53，循环水泵54，冷却器55，供热换热器56，调节水箱57，引风机58，调节水自控阀59，冷却水自控阀60，水位控制阀61；水换热模块C的循 环水出口8连接于热水箱53，热水箱53用于储存系统内热水；热水箱53连接于循环水泵 54，循环水泵54连接于冷却器55和供热换热器56，循环热水通过循环水泵54送入冷却器 55，或者送入供热换热器56对外部用户供热。冷却器55和供热换热器56汇入调节水箱57。 调节水自控阀59根据高温烟气入口温度、流量调节循环水流量，控制空气出口温度。冷却 水自控阀60根据热水箱53内水温控制冷却水流量，确保循环水系统整体的热平衡。水位控 制阀61根据调节水箱57的液位控制阀门开关，用于异常情况循环水系统的停机操作。

[0043] 一种模块化自调节式热管烟气余热回收系统的操作方法：

[0044] 热烟气从烟气入口1进入气体换热模块3，热烟气螺旋上升，与气体换热模块3外螺旋 结构处均布的热管21发生对流传热与热辐射，烟气扰动加强了传热效果并使传热较为均匀。烟气流动至顶端后切向进入气体换热模块3内侧筒体，沿反方向螺旋下降，从烟气出口2 流出气体换热模块3。

[0045] 循环水从循环水入口7进入水换热模块C，循环水从热管21表面吸收热量，循环水水 温上升，向上方流动，越过折流板10，从循环水出口8流出水换热模块C。

[0046] 水换热模块A吸收热烟气热量，水换热模块B利用热烟气热量加热冷空气，水换热模 块C利用循环水调节气气换热组合模块换热负荷，控制热空气温度。热水箱34用于储存系 统内热水，循环热水通过循环水泵35送入冷却器36，或者送入供热换热器37对外部用户供热。冷却器36和供热换热器37处循环热水放热后汇入调节水箱38混合使其水温均一， 压力稳定。调节水自控阀40根据高温烟气入口温度、流量调节循环水流量，控制空气出口 温度。冷却水自控阀41根据热水箱34内水温控制冷却水流量，确保循环水系统整体的热平衡。水位控制阀42根据调节水箱38的液位控制阀门开关，用于异常情况循环水系统的停机操作。气体换热模块A和气体换热模块B外夹套出口处接至低温烟气烟道43，引风机39 形成负压使气体换热模块A和气体换热模块B外加套内为负压状态，加强了气体换热模块 的保温效果，提升组合模块换热效率。

[0047] 气体换热模块A吸收热烟气热量，水换热模块C利用热烟气热量加热循环水，水换热 模块C出入口各支管处循环水阀门开关用于控制循环水流速，调整循环水与热管换热面积 从而控制气水换热组合模块的换热效率。热水箱53用于储存系统内热水，循环热水通过循 环水泵54送入冷却器55，或者送入供热换热器56对外部用户供热。冷却器55和供热换热器56处循环热水放热后汇入调节水箱57混合使其水温均一，压力稳定。调节水自控阀59 根据高温烟气入口温度、流量调节循环水流量，控制空气出口温度。冷却水自控阀60根据 热水箱53内水温控制冷却水流量，确保循环水系统整体的热平衡。水位控制阀61根据调节 水箱57的液位控制阀门开关，用于异常情况循环水系统的停机操作。气体换热模块A外夹 套出口处均接至循环水系统，增大气水换热面积，通过加强热辐射和对流传热的方式提升组合模块换热效率。

[0048] 实施例

[0049] 一种模块化自调节式热管烟气余热回收系统，包括有热管换热器模块、气气换热系统、气水换热系统。

[0050] 热管换热器模块包括有烟气入口1，烟气出口2，气体换热模块3，6，空气入口4，空气 出口5，循环水入口7，循环水出口8，水换热模块C，折流板10、11，夹套12、15，夹套循 环水出口13、16，夹套循环水入口14、17，管法兰18，排液管19、20，热管21。

[0051] 热烟气从烟气入口1进入气体换热模块3，热烟气螺旋上升，与气体换热模块3外螺旋 结构处均布的热管21发生对流传热与热辐射，烟气扰动加强了传热效果并使传热较为均匀。烟气流动至顶端后切向进入气体换热模块3内侧筒体，沿反方向螺旋下降，从烟气出口2 流出气体换热模块3。气体换热模块3为内外双筒结构，在接近管法兰18的内筒体壁面处 开孔。气体换热模块3外部夹套12为可选部件，夹套12上设置夹套循环水进口14和夹套循环水出口13。烟气入口1和烟气出口2底部根据排液需要，可适当调整底部烟道的倾斜角，使冷凝液由排液管19、20排出。

[0052] 循环水从循环水入口7进入水换热模块C，循环水从热管21表面吸收热量，循环水水 温上升，向上方流动，越过折流板10，从循环水出口8流出水换热模块C。折流板11和折流板10均为半圆形结构，折流板11与循环水出口8处于同一水平面，折流板10与循环水 入口7处于同一水平面，根据热流密度与温度的变化适当调整折流板高度，使水换热模块C 内循环水流场均匀分布，与热管21进行充分的热交换。

[0053] 气气换热系统包括有气体换热模块A和气体换热模块B，水换热模块C，热水箱34，循环水泵35，冷却器36，供热换热器37，调节水箱38，引风机39，调节水自控阀40，冷 却水自控阀41，水位控制阀42；

[0054] 水换热模块A吸收热烟气热量，水换热模块B利用热烟气热量加热冷空气，水换热模 块C利用循环水调节气气换热组合模块换热负荷，控制热空气温度。热水箱34用于储存系 统内热水，循环热水通过循环水泵35送入冷却器36，或者送入供热换热器37对外部用户供热。冷却器36和供热换热器37处循环热水放热后汇入调节水箱38混合使其水温均一， 压力稳定。调节水自控阀40根据高温烟气入口温度、流量调节循环水流量，控制空气出口 温度。冷却水自控阀41根据热水箱34内水温控制冷却水流量，确保循环水系统整体的热平衡。水位控制阀42根据调节水箱38的液位控制阀门开关，用于异常情况循环水系统的停机操作。气体换热模块A和气体换热模块B外夹套出口处接至低温烟气烟道43，引风机39 形成负压使气体换热模块A和气体换热模块B外加套内为负压状态，加强了气体换热模块 的保温效果，提升组合模块换热效率。

[0055] 气水换热系统包括有气体换热模块A，水换热模块C，热水箱53，循环水泵54，冷却器55，供热换热器56，调节水箱57，引风机58，调节水自控阀59，冷却水自控阀60，水 位控制阀61。

[0056] 气体换热模块A吸收热烟气热量，水换热模块C利用热烟气热量加热循环水，水换热 模块C出入口各支管处循环水阀门开关用于控制循环水流速，调整循环水与热管换热面积 从而控制气水换热组合模块的换热效率。热水箱53用于储存系统内热水，循环热水通过循 环水泵54送入冷却器55，或者送入供热换热器56对外部用户供热。冷却器55和供热换热器56处循环热水放热后汇入调节水箱57混合使其水温均一，压力稳定。调节水自控阀59 根

据高温烟气入口温度、流量调节循环水流量，控制空气出口温度。冷却水自控阀60根据 热水箱53内水温控制冷却水流量，确保循环水系统整体的热平衡。水位控制阀61根据调节 水箱57的液位控制阀门开关，用于异常情况循环水系统的停机操作。气体换热模块A外夹 套出口处均接至循环水系统，增大气水换热面积，通过加强热辐射和对流传热的方式提升组合模块换热效率。

[0057] 烟气余热回收系统适应性强，可根据气气、气水换热的不同负荷要求，灵活组合与布置 换热模块，满足不同设计条件下的烟气余热回收换热要求。烟气余热回收系统可调节性强， 通过水换热模块C水量易调节和热管41快速均温的特性，控制烟气余热回收系统热量与质 量平衡，达到最优的余热回收效果。烟气余热回收系统余热利用率高，利用烟气旋流、热管 高导热性能、水夹套、真空夹套等强化措施减少热量损失，提升烟气余热回收系统换热效率。

[0058] 尽管已经对上述各实施例进行了描述，但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概 念，则可对这些实施例做出另外的变更和修改，所以以上仅为本发明的实施例，并非因此限 制本发明的专利保护范围，凡是利用本发明说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变 换，或直接或间接运用在其他相关的技术领域，均同理包括在本发明的专利保护范围之内。

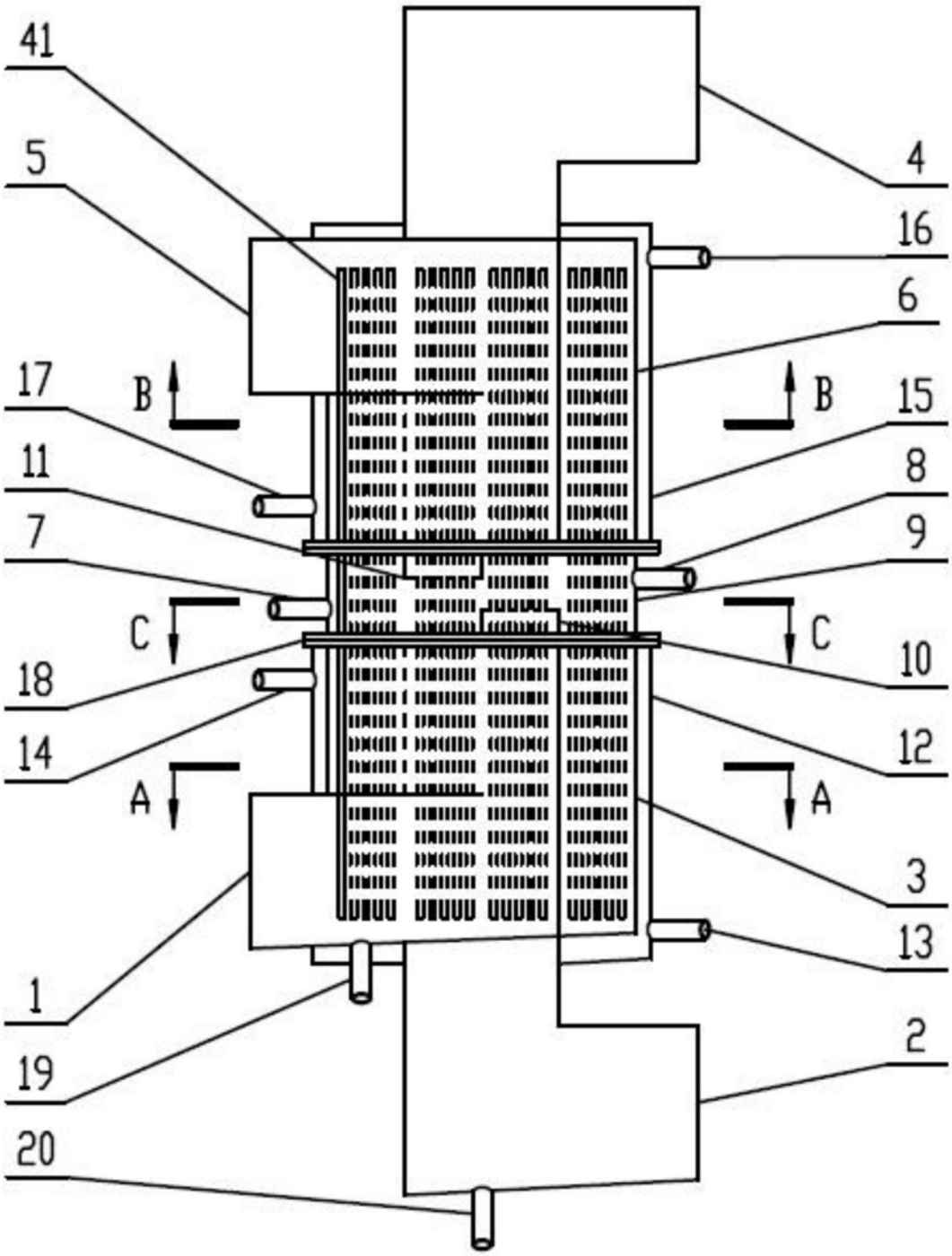


图1

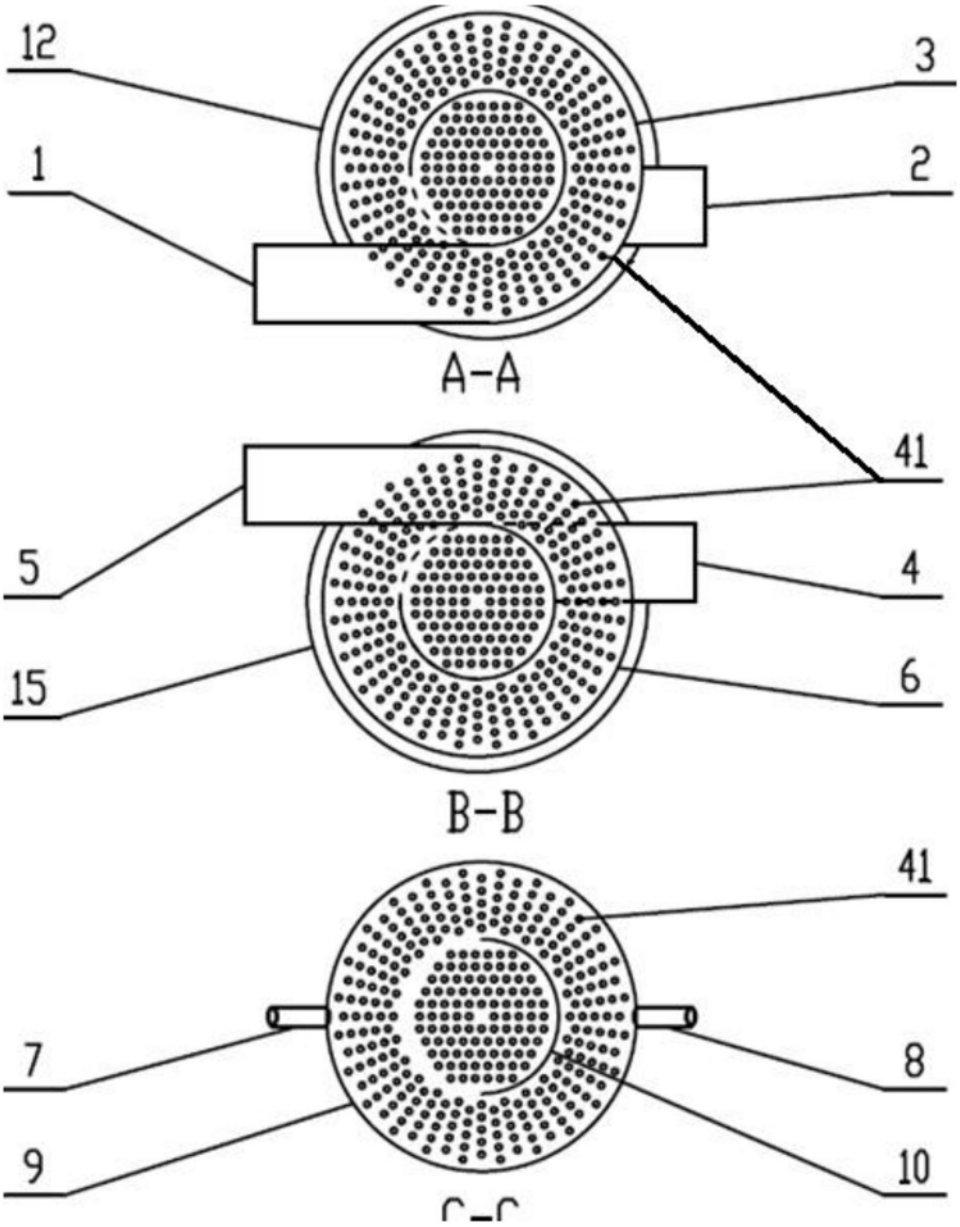


图2

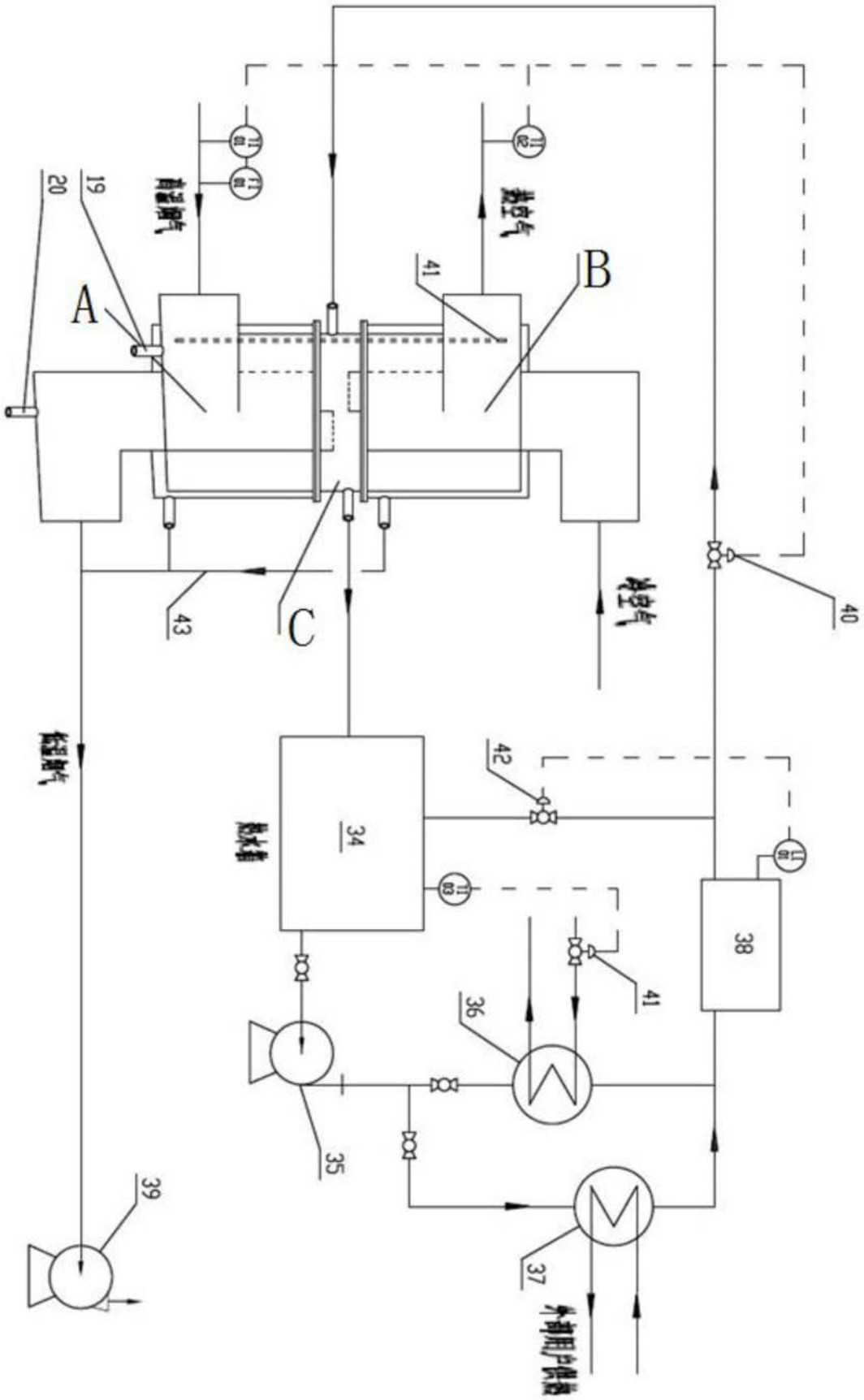


图3

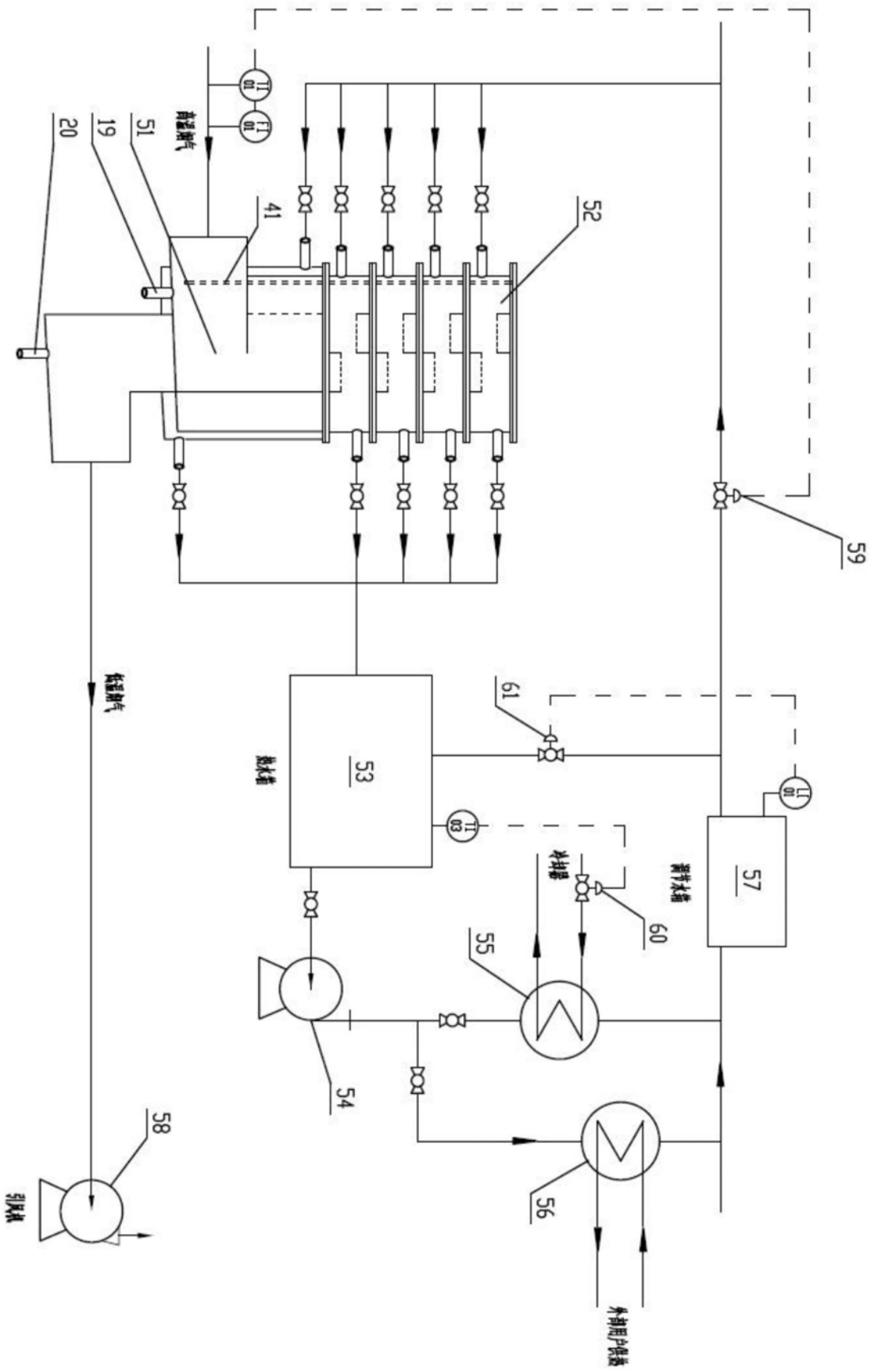


图4