(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 112683093 A
(43)申请公布日 2021.04.20

(21)申请号 202011566771.9

(22)申请日 2020.12.25

(71)申请人 上海电力大学
地址 200090 上海市杨浦区平凉路2103号

(72)发明人 王渡 陈豪 陈颖 魏佳倩 张锦坤 吕力超

(74)专利代理机构 南京禹为知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 32272
代理人 王晓东

(51)Int.Cl.
F28D 20/00(2006.01)
F01K 25/10(2006.01)

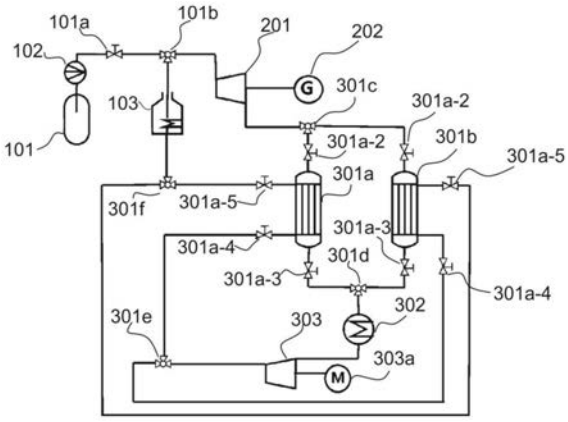
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统

(57)摘要

本发明公开了一种阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统，此系统包括加热组件、发电组件和储热组件，其中，加热组件，包括储存罐、与储存罐连接的泵、与泵连接的热源；发电组件，与泵连接，包括透平和与透平连接的发电机；储热组件，与透平连接，包括储热件、与储热件连接的冷却器、与冷却器连接的压缩机；其平均换热效果可以达到91.3%，回热器的投资制造成本降低50%，考虑到增加的阀门等设备增加的成本，采用阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统相比于采用印刷管路式换热器的超临界二氧化碳循环系统整体可以带来20%左右的收益。



CN 112683093 A

1.一种阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统,其特征在于:包括,

加热组件(100),包括储存罐(101)、与所述储存罐(101)连接的泵(102)、与所述泵(102)连接的热源(103);

发电组件(200),与所述泵(102)连接,包括透平(201)和与所述透平(201)连接的发电机(202);

储热组件(300),与所述透平(201)连接,包括储热件(301)、与所述储热件(301)连接的冷却器(302)、与所述冷却器(302)连接的压缩机(303)。

2.如权利要求1所述的阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统,其特征在于:所述加热组件(100)、发电组件(200)和储热组件(300)通过管道连接。

3.如权利要求1或2所述的阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统,其特征在于:所述泵(102)与热源(103)之间设置有第一调节阀(101a)和第一三通阀(101b),所述第一三通阀(101b)连接第一调节阀(101a)、热源(103)和透平(201)。

4.如权利要求3所述的阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统,其特征在于:所述储热件(301)包括第一回热器(301a)和第二回热器(301b),所述第一回热器(301a)、第二回热器(301b)和透平(201)之间连接有第二三通阀(301c)。

5.如权利要求4所述的阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统,其特征在于:所述第一回热器(301a)和第二回热器(301b)分别设置有填料口(301a-1)、蓄热入口调节阀(301a-2)、蓄热出口调节阀(301a-3)、放热入口调节阀(301a-4)和放热出口调节阀(301a-5),所述第一回热器(301a)和第二回热器(301b)内还放置有填充料(301a-6)。

6.如权利要求5所述的阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统,其特征在于:所述第一回热器(301a)和第二回热器(301b)的蓄热入口调节阀(301a-2)与第二三通阀(301c)连接,其蓄热出口调节阀(301a-3)与冷却器(302)通过第三三通阀(301d)连接,其放热入口调节阀(301a-4)与压缩机(303)通过第四三通阀(301e)连接,其放热出口调节阀(301a-5)与热源(103)通过第五三通阀(301f)连接。

7.如权利要求1、2、4、5、6任一所述的阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统,其特征在于:所述压缩机(303)还连接有电动机(303a)。

8.如权利要求7所述的阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统,其特征在于:所述热源(103)采用太阳能、核反应堆、工业余热等温度为400～750℃的热源。

9.如权利要求5或6所述的阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统,其特征在于:所述填充料(301a-6)填充度取值范围为0.3～0.5,且其可选择刚玉球、铸造陶瓷和合金材料等。

10.如权利要求4、5、6任一所述的阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统,其特征在于:所述第一回热器(301a)和第二回热器(301b)为一体成型,采用不锈钢材料制成。

一种阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统

技术领域

[0001] 本发明涉及动力循环的技术领域，尤其涉及一种阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统。

背景技术

[0002] 超临界二氧化碳布雷顿循环以其高效的循环效率和紧凑的整体结构，可与核反应堆、太阳能光热、燃机余热和传统火电锅炉等热源进行耦合。

[0003] 换热器是超临界二氧化碳布雷顿循环中的主要设备之一，对于换热器需要至少满足以下要求：(1)可以承受较高的温度和压力，最大运行温度范围500℃至700℃，最大运行压力18至20MPa。(2)整体尺寸较小，为了减少系统的整体尺寸，换热器的体积应该尽可能的小。目前，超临界二氧化碳布雷顿循环系统的主要选择印刷电路板式换热器(PCHE)，但是PCHE采用光化学蚀刻等加工技术，整体加工难度大，投资成本高。

[0004] 目前，蓄热式换热器投资成本少并且换热效果好，普遍应用于工业领域，因此，提出将蓄热式换热器应用于超临界二氧化碳布雷顿循环系统，降低超临界二氧化碳循环系统中回热器的加工难度和投资成本，这对超临界二氧化碳系统的规模化应用和发展有着重要的意义。

发明内容

[0005] 本部分的目的在于概述本发明的实施例的一些方面以及简要介绍一些较佳实施例。在本部分以及本申请的说明书摘要和发明名称中可能会做些简化或省略以避免使本部分、说明书摘要和发明名称的目的模糊，而这种简化或省略不能用于限制本发明的范围。

[0006] 鉴于上述现有阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统存在的问题，提出了本发明。

[0007] 因此，本发明目的是提供一种阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统，其能解决目前超临界二氧化碳循环系统中回热器加工难度大，投资成本高的问题。

[0008] 为解决上述技术问题，本发明提供如下技术方案：一种阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统，包括加热组件、发电组件、储热组件，其中，加热组件，包括储存罐、与所述储存罐连接的泵、与所述泵连接的热源；发电组件，与所述泵连接，包括透平和与所述透平连接的发电机；储热组件，与所述透平连接，包括储热件、与所述储热件连接的冷却器、与所述冷却器连接的压缩机。

[0009] 作为本发明所述阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统的一种优选方案，其中：所述加热组件、发电组件和储热组件通过管道连接。

[0010] 作为本发明所述阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统的一种优选方案，其中：所述泵与热源之间设置有第一调节阀和第一三通阀，所述第一三通阀连接第一调节阀、热源和透平。

[0011] 作为本发明所述阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统的一种优选方

案,其中:所述储热件包括第一回热器和第二回热器,所述第一回热器、第二回热器和透平之间连接有第二三通阀。

[0012] 作为本发明所述阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统的一种优选方案,其中:所述第一回热器和第二回热器分别设置有填料口、蓄热入口调节阀、蓄热出口调节阀、放热入口调节阀和放热出口调节阀,所述第一回热器和第二回热器内还放置有填充料。

[0013] 作为本发明所述阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统的一种优选方案,其中:所述第一回热器和第二回热器的蓄热入口调节阀与第二三通阀连接,其蓄热出口调节阀与冷却器通过第三三通阀连接,其放热入口调节阀与压缩机通过第四三通阀连接,其放热出口调节阀与热源通过第五三通阀连接。

[0014] 作为本发明所述阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统的一种优选方案,其中:所述压缩机还连接有电动机。

[0015] 作为本发明所述阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统的一种优选方案,其中:所述热源采用太阳能、核反应堆、工业余热等温度为～℃的热源。

[0016] 作为本发明所述阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统的一种优选方案,其中:所述填充料填充度取值范围为.～.,且其可选择刚玉球、铸造陶瓷和合金材料等。

[0017] 作为本发明所述阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统的一种优选方案,其中:所述第一回热器和第二回热器为一体成型,采用不锈钢材料制成。

[0018] 本发明的有益效果:

[0019] 本发明提出的一种阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统,相对于常规采用印刷电路板式换热器(PCHE)的超临界二氧化碳循环系统投资成本更低,加工难度更小,有利于超临界二氧化碳布雷顿循环系统在工程中的建设与推广。

[0020] 对10MW级的超临界二氧化碳布雷顿循环系统进行测试,储热回热箱采用 316不锈钢管,储热填充料采用3mm不锈钢球,填充率取37%,工作压力范围为7.4～15MPa,工作温度范围为71℃～244℃,对蓄热式回热器的换热效果进行测试,结果表明,其平均换热效果可以达到91.3%,回热器的投资制造成本降低50%,考虑到增加的阀门等设备增加的成本,采用阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统相比于采用印刷管路式换热器的超临界二氧化碳循环系统整体可以带来20%左右的收益。

附图说明

[0021] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例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性的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。其中:

[0022] 图1为本发明阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统的整体结构示意图。

[0023] 图2为本发明阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统的回热器结构示意图。

具体实施方式

[0024] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合说明书附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

[0025] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明，但是本发明还可以采用其他不同于在此描述的其它方式来实施，本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似推广，因此本发明不受下面公开的具体实施例的限制。

[0026] 其次，此处所称的“一个实施例”或“实施例”是指可包含于本发明至少一个实现方式中的特定特征、结构或特性。在本说明书中不同地方出现的“在一个实施例中”并非均指同一个实施例，也不是单独的或选择性的与其他实施例互相排斥的实施例。

[0027] 再其次，本发明结合示意图进行详细描述，在详述本发明实施例时，为便于说明，表示器件结构的剖面图会不依一般比例作局部放大，而且所述示意图只是示例，其在此不应限制本发明保护的范围。此外，在实际制作中应包含长度、宽度及深度的三维空间尺寸。

[0028] 实施例1

[0029] 参照图1，为本发明第一个实施例，提供了一种阀门切换的蓄热式回热超临界二氧化碳循环系统，此系统包括加热组件100、发电组件200和储热组件 300，其中，加热组件100，包括储存罐101、与所述储存罐101连接的泵102、与所述泵102连接的热源103；发电组件200，与所述泵102连接，包括透平 201和与所述透平201连接的发电机202；储热组件300，与所述透平201连接，包括储热件301、与所述储热件301连接的冷却器302、与所述冷却器302连接的压缩机303。

[0030] 其中，加热组件100能够对超临界二氧化碳工质加热，并为整个系统提供二氧化碳，发电组件200通过超临界二氧化碳带动发电机202发电，储热组件 300用于对超临界二氧化碳热量进行吸收蓄热，并降温与加压，之后重新回到热源103处进行循环。

[0031] 储存罐101内存储有超临界二氧化碳，泵102驱动二氧化碳流入系统，热源103将二氧化碳加热，加热后的超临界二氧化碳工质进入透平201内做功，透平201带动发电机202发电，储热件301用于对超临界二氧化碳热量进行吸收蓄热，冷却器302将二氧化碳降温，之后二氧化碳进入压缩机303进行加压。

[0032] 实施例2

[0033] 参照图1～2，为本发明的第二个实施例，该实施例不同于第一个实施例的是：所述加热组件100、发电组件200和储热组件300通过管道连接。所述泵 102与热源103之间设置有第一调节阀101a和第一三通阀101b，所述第一三通阀101b连接第一调节阀101a、热源103和透平201。

[0034] 所述储热件301包括第一回热器301a和第二回热器301b，所述第一回热器301a、第二回热器301b和透平201之间连接有第二三通阀301c。所述第一回热器301a和第二回热器301b分别设置有填料口301a-1、蓄热入口调节阀 301a-2、蓄热出口调节阀301a-3、放热入口调节阀301a-4和放热出口调节阀 301a-5，所述第一回热器301a和第二回热器301b内还放置有填充料301a-6。

[0035] 所述第一回热器301a和第二回热器301b的蓄热入口调节阀301a-2与第二三通阀301c连接，其蓄热出口调节阀301a-3与冷却器302通过第三三通阀301d 连接，其放热入口调节阀301a-4与压缩机303通过第四三通阀301e连接，其放热出口调节阀301a-5与热源103

通过第五三通阀301f连接。

[0036] 所述压缩机303还连接有电动机303a。所述热源103采用太阳能、核反应堆、工业余热等温度为400～750℃的热源。所述填充料301a-6填充度取值范围为0.3～0.5，且其可选择刚玉球、铸造陶瓷和合金材料等。所述第一回热器301a 和第二回热器301b为一体成型，采用不锈钢材料制成。

[0037] 相较于实施例1，进一步的，当机组启动时，第一调节阀101a打开，超临界二氧化碳工质在泵102的驱动下从二氧化碳储存罐101中流入系统，当工质补充完成后，关闭泵102和第一调节阀101a；热源103开始对流入的超临界二氧化碳工质进行加热，加热后的超临界二氧化碳工质进入透平201做功，带动发电机202发电；此时，第一回热器301a上的蓄热入口调节阀301a-2和蓄热出口调节阀301a-3打开，第二回热器301b的蓄热入口调节阀301a-2和蓄热出口调节阀301a-3关闭，第二三通阀301c和第三三通阀301d与第一回热器301a 相连的一侧打开，与第二回热器301b相连的一侧关闭，第一回热器301a的放热入口调节阀301a-4和放热出口调节阀301a-5关闭，第二回热器301b的放热入口调节阀301a-4和放热出口调节阀301a-5打开，第四三通阀301d与第一回热器301a相连的一侧关闭，与第二回热器301b相连的一侧打开，第五三通阀 301e与第二回热器301b相连的一侧打开，与第一回热器301a相连的一侧关闭。

[0038] 超临界二氧化碳工质经过热源103加热，进入透平201做功，并带动发电机202发电，做功完成后超临界二氧化碳从透平201排出，经过第二三通阀301c 和第一回热器301a的蓄热入口调节阀301a-2进入第一回热器301a进行蓄热，高温超临界二氧化碳工质的热量第一回热器301a储存温度降低，降温后的超临界二氧化碳工质经过第一回热器301a的蓄热出口调节阀301a-3流入冷却器 302温度继续降低，降温后的超临界二氧化碳进入压缩机303进行加压，压力升高后的超临界二氧化碳工质经过第四三通阀301d和第二回热器301b的放热入口调节阀301a-4流入第二回热器301b，此时第二回热器301b未经过蓄热，第二回热器301b只起到连通回路的作用，所以超临界二氧化碳工质经过第二回热器301b从其放热出口调节阀301a-5流出，经过第五三通阀301e进入热源 103进行下一次循环。

[0039] 当机组启动一段时间后，第一回热器301a中热量储存完成，系统进行阀门切换，此时，第一回热器301a的蓄热入口调节阀301a-2和蓄热出口调节阀 301a-3关闭，第二回热器301b的蓄热入口调节阀301a-2和蓄热出口调节阀 301a-3打开，第二三通阀301c与与第一回热器301a相连的一侧关闭，与第二回热器301b相连的一侧打开，第三三通阀301c与第一回热器301a相连的一侧关闭，与第二回热器301b相连的一侧打开；在放热侧，第一回热器301a的放热出口调节阀301a-5和放热入口调节阀301a-4打开，第二回热器301b的放热入口调节阀301a-4和放热出口调节阀301a-5关闭，第四三通阀301d与第一回热器301a相连的一侧打开，与第二回热器301b相连的一侧关闭，第五三通阀 301e与第一回热器301a相连的一侧打开，与第二回热器301b相连的一侧关闭。

[0040] 此时，整个超临界二氧化碳工质的流程为：超临界二氧化碳工质经过热源 103加热，进入透平201做功，并带动发电机202发电，做功完成后超临界二氧化碳从透平201排出，经过第二三通阀301c和第二回热器301b的蓄热入口调节阀301a-2进行蓄热，超临界二氧化碳工质的热量被第二回热器301b储存温度降低，降温后的超临界二氧化碳工质经过蓄热出口调节阀301a-3流入冷却器302温度继续降低，降温后的超临界二氧化碳进入压缩机303进

行加压，压力升高后的超临界二氧化碳工质经过第四三通阀301d和第一回热器301a的放热入口调节阀301a-4流入第一回热器301a，超临界二氧化碳工质吸收第一回热器301a之前储存的热量温度升高，升温后的超临界二氧化碳工质从第一回热器301a的放热出口调节阀301a-5排出，经过第五三通阀301e与热源103继续下一次循环。

[0041] 当机组稳定运行后，系统根据第一回热器301a和第二回热器301b的储热时间进行定时切换，当其中一个蓄热式回热器热量蓄满后，关闭其蓄热侧阀门，该蓄热式回热器切换至放热回路进行放热；另一个蓄热式回热器打开蓄热侧阀门进行蓄热，关闭放热侧阀门；如此循环切换达到蓄热回热的目的。

[0042] 蓄热式回热器的蓄热回热箱体采用不锈钢作为管壁材料，内部填充的蓄热填充料301a-6为直径6mm的球状储热填充料，从上方的填料口301a-1加入第一回热器301a和第二回热器301b，填充料在储热回热箱中的填充度一般在 0.3～0.5之间，可根据实际情况进行调整，其中的蓄热入口调节阀301a-2、蓄热出口调节阀301a-3、放热入口调节阀301a-4和放热出口调节阀301a-5与整个系统中的蓄热回路侧和放热回路侧调节阀对应，与整个储热式回热器焊接在一起保证系统的密封性。

[0043] 其余结构与实施例1的结构相同。

[0044] 重要的是，应注意，在多个不同示例性实施方案中示出的本申请的构造和布置仅是例示性的。尽管在此公开内容中仅详细描述了几个实施方案，但参阅此公开内容的人员应容易理解，在实质上不偏离该申请中所描述的主题的新颖教导和优点的前提下，许多改型是可能的(例如，各种元件的尺寸、尺度、结构、形状和比例、以及参数值(例如，温度、压力等)、安装布置、材料的使用、颜色、定向的变化等)。例如，示出为整体成形的元件可以由多个部分或元件构成，元件的位置可被倒置或以其它方式改变，并且分立元件的性质或数目或位置可被更改或改变。因此，所有这样的改型旨在被包含在本发明的范围内。可以根据替代的实施方案改变或重新排序任何过程或方法步骤的次序或顺序。在权利要求中，任何“装置加功能”的条款都旨在覆盖在本文中所描述的执行所述功能的结构，且不仅是结构等同而且还是等同结构。在不背离本发明的范围的前提下，可以在示例性实施方案的设计、运行状况和布置中做出其他替换、改型、改变和省略。因此，本发明不限制于特定的实施方案，而是扩展至仍落在所附的权利要求书的范围内的多种改型。

[0045] 此外，为了提供示例性实施方案的简练描述，可以不描述实际实施方案的所有特征(即，与当前考虑的执行本发明的最佳模式不相关的那些特征，或于实现本发明不相关的那些特征)。

[0046] 应理解的是，在任何实际实施方式的开发过程中，如在任何工程或设计项目中，可做出大量的具体实施方式决定。这样的开发努力可能是复杂的且耗时的，但对于那些得益于此公开内容的普通技术人员来说，不需要过多实验，所述开发努力将是一个设计、制造和生产的常规工作。

[0047] 应说明的是，以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制，尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明，本领域的普通技术人员应当理解，可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换，而不脱离本发明技术方案的精神和范围，其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。。

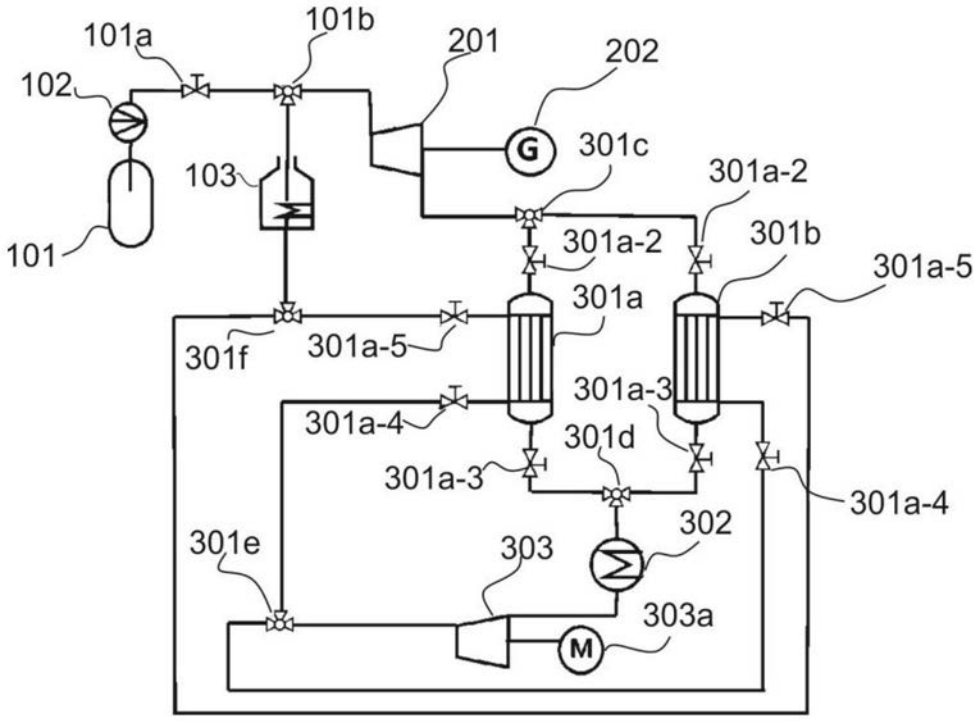

101a
101b
201
202
102
G
301c
103
301a-2
301a-2
301b
301a-5
101
301a
301f
301a-5
301a-3
301a-4
301d
301a-3
301a-4
302
301e
303
303a
M

图1

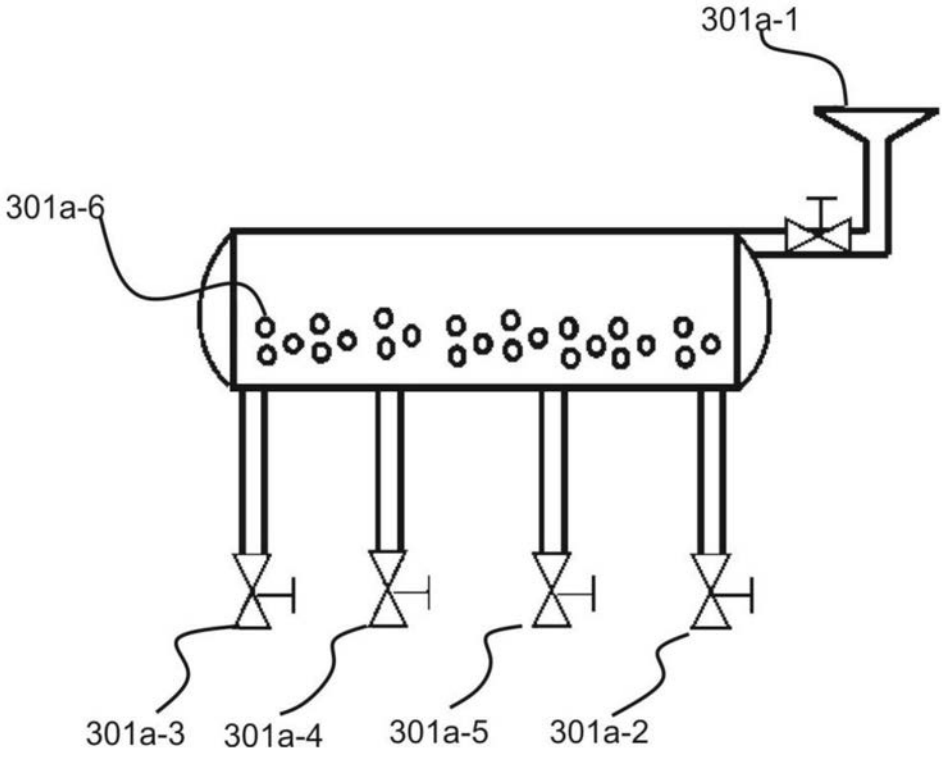

301a-1
301a-6
301a-3
301a-4
301a-5
301a-2

图2