



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110513902 B

(45) 授权公告日 2024. 02. 20

(21) 申请号 201910834751.6

F25B 40/02 (2006.01)

(22) 申请日 2019.09.05

F25B 41/30 (2021.01)

F25B 43/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110513902 A

(43) 申请公布日 2019.11.29

(73) 专利权人 天津商业大学

地址 300134 天津市北辰区光荣道409号

(72) 发明人 代宝民 齐海峰 刘圣春 张鹏

孙悦桐 刘笑 赵谱 赵晓璇

(74) 专利代理机构 天津市三利专利商标代理有

限公司 12107

专利代理师 仝林叶

(56) 对比文件

CN 210861771 U, 2020.06.26

CN 108317581 A, 2018.07.24

CN 110057124 A, 2019.07.26

US 2006075768 A1, 2006.04.13

CN 101326409 A, 2008.12.17

CN 106828032 A, 2017.06.13

CN 108626902 A, 2018.10.09

CN 109724293 A, 2019.05.07

JP 2018028395 A, 2018.02.22

WO 2008019689 A2, 2008.02.21

审查员 黄坚

(51) Int. Cl.

F25B 1/10 (2006.01)

F25B 30/02 (2006.01)

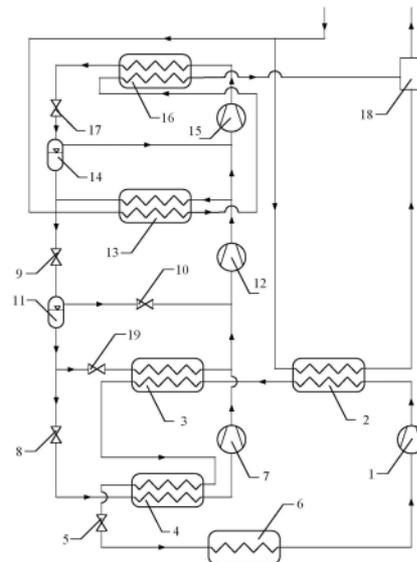
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种多级蒸发冷凝机械过冷跨临界CO<sub>2</sub>中高温热泵系统

(57) 摘要

本发明公开了一种多级蒸发冷凝机械过冷跨临界CO<sub>2</sub>中高温热泵系统。本发明由CO<sub>2</sub>机械过冷热泵子系统和多级蒸发多级冷凝子系统组成；CO<sub>2</sub>机械过冷热泵子系统由CO<sub>2</sub>压缩机、CO<sub>2</sub>气体冷却器、CO<sub>2</sub>过冷器、节流阀和CO<sub>2</sub>蒸发器组成；所述多级蒸发多级冷凝子系统，包括低压级压缩机、高压级压缩机、高温级冷凝器、中温级冷凝器、CO<sub>2</sub>过冷器、低温级蒸发器、气液分离器、各级节流阀。本发明通过制冷剂的多级增压和冷凝及蒸发过程，提高系统焓效率和整体能效及经济效益。



1. 一种多级蒸发冷凝机械过冷跨临界CO<sub>2</sub>中高温热泵系统,其特征在于,由CO<sub>2</sub>机械过冷热泵子系统和多级蒸发多级冷凝子系统组成;

CO<sub>2</sub>机械过冷热泵子系统由CO<sub>2</sub>压缩机、CO<sub>2</sub>气体冷却器、CO<sub>2</sub>过冷器、节流阀一和CO<sub>2</sub>蒸发器组成;

所述多级蒸发多级冷凝子系统,包括低压级压缩机、高压级压缩机、高温级冷凝器、中温级冷凝器、CO<sub>2</sub>过冷器、低温级蒸发器、气液分离器一、气液分离器二、节流阀二~六;

所述CO<sub>2</sub>压缩机出口与CO<sub>2</sub>气体冷却器制冷剂侧入口相连,所述CO<sub>2</sub>气体冷却器出口与CO<sub>2</sub>过冷器制冷剂侧入口相连,CO<sub>2</sub>过冷器为多级过冷器,由多个过冷器串联构成;所述CO<sub>2</sub>过冷器出口与低温级蒸发器CO<sub>2</sub>制冷剂侧入口相连,所述低温级蒸发器出口与节流阀一入口相连,所述节流阀一出口与CO<sub>2</sub>蒸发器入口相连,所述CO<sub>2</sub>蒸发器出口与CO<sub>2</sub>压缩机入口相连;

所述低压级压缩机出口分别与CO<sub>2</sub>过冷器常规工质侧出口和中压级压缩机入口相连,所述中压级压缩机出口分别与中温级冷凝器常规工质侧入口和高压级压缩机入口相连,所述高压级压缩机出口与高温级冷凝器常规工质侧入口相连,所述高温级冷凝器与节流阀五入口相连,所述节流阀五出口与气液分离器二入口相连,所述气液分离器二气体出口与高压级压缩机入口相连,所述气液分离器二液体出口与中温级冷凝器常规工质侧出口相连,中温级冷凝器常规工质侧出口与节流阀三入口相连,所述节流阀三入口与气液分离器一入口相连,所述气液分离器一气体出口与节流阀四入口相连,所述节流阀四入口与中压级压缩机入口相连,所述气液分离器一液体出口分成两路,一路与节流阀六入口相连,所述节流阀六出口与CO<sub>2</sub>过冷器常规工质侧入口相连,所述CO<sub>2</sub>过冷器常规工质侧出口与中压级压缩机入口相连;所述气液分离器一液体出口另一路与节流阀二入口相连,所述节流阀二出口与低温级蒸发器常规工质侧入口相连,所述低温级蒸发器常规工质侧出口与低压级压缩机入口相连;

所述CO<sub>2</sub>蒸发器为翅片管式换热器;高温级冷凝器、中温级冷凝器、CO<sub>2</sub>过冷器、CO<sub>2</sub>气体冷却器、低温级蒸发器均为套管式换热器;使用的工质为R1234ze、R1233zd、R1224yd、R1336mzz、R365mfc、R1234yf或R245fa纯制冷剂,或采用R1234ze(E)/CO<sub>2</sub>、R1234ze/CO<sub>2</sub>、R1234yf/CO<sub>2</sub>、R1234ze/R41、R1234ze/R41、R1234yf/R41、R1234ze/R32、R1234ze/R32或R1234yf/R32非共沸混合工质。

## 一种多级蒸发冷凝机械过冷跨临界CO<sub>2</sub>中高温热泵系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及环保制冷剂技术领域,尤其涉及一种多级蒸发冷凝机械过冷跨临界CO<sub>2</sub>中高温热泵系统。

### 背景技术

[0002] 食品干燥、烟草、化工、造纸、陶瓷等行业对中高温热水及蒸汽的需求量巨大,然而通过传统电加热及燃煤锅炉等方法生产中高温热水(蒸汽)往往会消耗大量电力及燃料资源,并且对环境造成严重污染。热泵产品作为一种清洁、高效、稳定的设备可用于生产中高温热水(蒸汽),通过中高温热泵设备可提高能源利用率、推动节能减排,对于提升经济效益具有重要的实际意义和社会价值。

[0003] 然而目前市场上绝大多数热泵产品充注的制冷剂为HFCs类工质,其全球暖化潜势(GWP)较高,属于“高GWP”的范畴。

### 发明内容

[0004] 本发明目的在于提供一种多级蒸发冷凝机械过冷跨临界CO<sub>2</sub>中高温热泵系统,通过多级蒸发冷凝系统使CO<sub>2</sub>中高温热泵系统产生的热水与其交换的热量实现良好的热匹配,同时可以降低匹配过程中不可逆损失,提高热泵系统的性能。

[0005] 本发明一种多级蒸发冷凝机械过冷跨临界CO<sub>2</sub>中高温热泵系统,由CO<sub>2</sub>机械过冷热泵子系统和多级蒸发多级冷凝子系统组成;

[0006] CO<sub>2</sub>机械过冷热泵子系统由CO<sub>2</sub>压缩机、CO<sub>2</sub>气体冷却器、CO<sub>2</sub>过冷器、节流阀和CO<sub>2</sub>蒸发器组成;

[0007] 所述多级蒸发多级冷凝子系统,包括低压级压缩机、中压级压缩机、高压级压缩机、高温级冷凝器、中温级冷凝器、CO<sub>2</sub>过冷器、低温级蒸发器、气液分离器、各级节流阀;

[0008] 所述CO<sub>2</sub>压缩机出口与CO<sub>2</sub>气体冷却器制冷剂侧入口相连,所述CO<sub>2</sub>气体冷却器出口与CO<sub>2</sub>过冷器制冷剂侧入口相连,CO<sub>2</sub>过冷器为多级过冷器,由多个过冷器串联构成;所述CO<sub>2</sub>过冷器出口与低温级蒸发器CO<sub>2</sub>制冷剂侧入口相连,所述低温级蒸发器出口与节流阀一入口相连,所述节流阀一出口与CO<sub>2</sub>蒸发器入口相连,所述CO<sub>2</sub>蒸发器出口与CO<sub>2</sub>压缩机入口相连;

[0009] 所述低压级压缩机出口分别与CO<sub>2</sub>过冷器常规工质侧出口和中压级压缩机入口相连,所述中压级压缩机出口分别与中温级冷凝器常规工质侧入口和高压级压缩机入口相连,所述高压级压缩机出口与高温级冷凝器常规工质侧入口相连,所述高温级冷凝器与节流阀五入口相连,所述节流阀五出口与气液分离器二入口相连,所述气液分离器二气体出口与高压级压缩机入口相连,所述气液分离器二液体出口与中温级冷凝器常规工质侧出口相连,所述中温级冷凝器出口与节流阀三入口相连,所述节流阀三入口与气液分离器一入口相连,所述气液分离器一气体出口与节流阀四入口相连,所述节流阀四入口与中压级压缩机入口相连,所述气液分离器一液体出口分成两路,一路与节流阀六入口相连,所述节流

阀六出口与CO<sub>2</sub>过冷器常规工质侧入口相连,所述CO<sub>2</sub>过冷器出口与中压级压缩机入口相连;所述气液分离器一液体出口另一路与节流阀二入口相连,所述节流阀二出口与低温级蒸发器常规工质侧入口相连,所述低温级蒸发器出口与低压级压缩机入口相连。

[0010] 使用的工质为可采用R1234ze (Z)、R1234ze (E)、R1233zd (E)、R1224yd (Z)、R1336mzz (Z)、R365mfc、R1234yf、R245fa等纯制冷剂,也可采用 CO<sub>2</sub>/R1234ze (E)、CO<sub>2</sub>/R1234ze (Z)、CO<sub>2</sub>/R1234yf、R41/R1234ze (E)、R41/R1234ze (Z)、R41/R1234yf、R32/R1234ze (E)、R32/R1234ze (Z)、R32/R1234yf等非共沸混合工质。

[0011] 其中热水侧循环主要分为两路,一路先流经中温级冷凝器进行换热后,水温升高,而后流经高温级冷凝器进行换热,换热后水温继续升高,达到供水所需温度。另一路则是流经CO<sub>2</sub>气体冷却器进行换热,水温升高至供水温度。两路循环后的热水在储水箱内进行汇合,汇合后的热水通过管道输送至用户。

[0012] 本发明具有如下有益效果:

[0013] 本发明多级蒸发多级冷凝机械过冷跨临界CO<sub>2</sub>中高温热泵系统则可替代传统的HFCs类工质并提升能效,可有效解决能源浪费以及环境污染等问题。通过多级蒸发多级冷凝系统对气体冷却器出口的CO<sub>2</sub>流体进行过冷,可以减小由于节流造成的不可逆损失。该系统的应用可以有效节约能源,具有明显的经济效益和社会效益,市场潜力巨大。

[0014] (1) 高温热泵系统的制冷剂为自然工质CO<sub>2</sub>。CO<sub>2</sub>的GWP为1,ODP 为0,安全无毒不可燃、廉价易获取,是环境友好的制冷剂,多级蒸发冷凝系统的制冷剂为低GWP工质,与现有热泵系统使用的制冷剂相比,大大缓解了温室效应,环保优势明显。

[0015] (2) 多级蒸发冷凝系统的多级蒸发过程对CO<sub>2</sub>进行梯级过冷,多级蒸发冷凝系统的多级蒸发过程对回水进行梯级加热,多级蒸发冷凝系统的蒸发和冷凝过程与热源侧流体(CO<sub>2</sub>流体)和热沉侧流体(水)同时实现良好的温度匹配,显著降低热匹配过程中的不可逆损失。通过多级蒸发过程对CO<sub>2</sub>流体进行梯级过冷,可同时降低过冷过程的换热不可逆损失与节流过程的不可逆损失,提高系统能效。

[0016] (3) CO<sub>2</sub>相对于目前使用的制冷剂,放热过程为超临界状态,具有较大的温度滑移,更适用于高温热泵系统,具有较高的单位容积制热量,减小压缩机的体积,降低了制冷剂的充注量,设备紧凑,减轻了系统重量。

[0017] (4) 多级蒸发冷凝系统采用混合制冷剂后,可实现热源与热沉侧更好的热匹配,进一步减小换热过程的不可逆损失,使得热泵系统性能提升,节约能源。

## 附图说明

[0018] 图1为本发明的系统示意图;

[0019] 图2为本发明的系统示意图。

## 具体实施方式

[0020] 为能进一步了解本发明的发明内容、特点及功效,兹例举以下实施例,并配合附图详细说明如下。

[0021] 实施例1:一种两级蒸发冷凝机械过冷跨临界CO<sub>2</sub>中高温热泵系统,

[0022] 请参阅图1,其工作原理是:

[0023] 第一步:高温热泵系统内充注的工质为 $\text{CO}_2$ ,低温低压的 $\text{CO}_2$ 蒸汽进入  $\text{CO}_2$ 压缩机1吸气口,由 $\text{CO}_2$ 压缩机1压缩至高温高压超临界流体,进入  $\text{CO}_2$ 气体冷却器2与冷却水进行换热,由于气冷器存在换热温差,此时 $\text{CO}_2$ 温度稍高于冷却水温度。经气体冷却器2冷却的 $\text{CO}_2$ 流经过冷器3再次进行冷却,此时与其换热的是多级蒸发多级冷凝系统内的制冷剂,冷却后的 $\text{CO}_2$ 流经多级蒸发多级冷凝系统低温级蒸发器4再次进行换热冷却后流经节流阀—5进行节流,节流后的 $\text{CO}_2$ 气液两相状态流经 $\text{CO}_2$ 蒸发器6冷却后被 $\text{CO}_2$ 压缩机1吸入后再次进行压缩。

[0024] 第二步:来自低温级蒸发器4内的制冷剂经低压级压缩机7进行压缩后与 $\text{CO}_2$ 过冷器3内换热的制冷剂混合后经过一段管道后与流经节流阀四10 (主要作用是平衡阀体两侧制冷剂的压力的)的制冷剂混合并经过中压级压缩机12进行压缩后分成两路,一路流经中温级冷凝换热器13进行与冷却水换热,另外一路与气液分离器二14内的气体制冷剂混合后经高温级压缩机15 再次进行压缩。

[0025] 第三步:压缩后的高温高压的制冷剂流经高温级冷凝换热器16进行与来自流经中温级冷凝换热器13的冷却水进行再次换热后流经节流阀五17进行节流降压至气液分离器二14,气液分离器二14底部的制冷剂液体与中温级冷凝换热器13内的制冷剂混合后经节流阀三9节流后流经至气液分离器一11,气液分离器一11内的制冷剂气体经过节流阀四10后与来自与 $\text{CO}_2$ 过冷器3换热后的制冷剂和低压级压缩机7压缩的制冷剂混合后再次进行压缩。

[0026] 第四步:气液分离器一11内的制冷剂液体分为两路,一路经节流阀六 19节流后流经 $\text{CO}_2$ 过冷器3并进行换热,另一路则经节流阀二8节流后流经低温级蒸发热交换器4进行换热后被低压级压缩机7吸入进行压缩,完成循环。

[0027] 实施例2:一种三级蒸发冷凝机械过冷跨临界 $\text{CO}_2$ 高温热泵系统

[0028] 请参阅图2,其工作原理是:

[0029] 第一步:高温热泵系统内充注的工质为 $\text{CO}_2$ ,低温低压的 $\text{CO}_2$ 蒸汽进入  $\text{CO}_2$ 压缩机1吸气口,由 $\text{CO}_2$ 压缩机1压缩至高温高压超临界流体,进入  $\text{CO}_2$ 气体冷却器2与冷却水进行换热,由于气冷器存在换热温差,此时 $\text{CO}_2$ 温度稍高于冷却水温度。经气体冷却器2冷却的 $\text{CO}_2$ 流经过冷器3再次进行冷却,此时与其换热的是多级蒸发多级冷凝系统内的制冷剂,冷却后的 $\text{CO}_2$ 流经多级蒸发多级冷凝系统低温级蒸发器4再次进行换热冷却后进行节流 5,节流后的 $\text{CO}_2$ 气液两相状态流经 $\text{CO}_2$ 蒸发器6后被 $\text{CO}_2$ 压缩机1吸入后再次进行压缩。

[0030] 第二步:来自低温级蒸发器4内的制冷剂经低压级压缩机7进行压缩后与 $\text{CO}_2$ 过冷器3内换热的制冷剂混合后,经过一段管道,被中压级压缩机 12压缩后分成两路,一路与气液分离器一11内的另一部分经过中压级压缩机20压缩后的气体进行混合,流经中温级冷凝换热器13进行与冷却水换热,另外一路与气液分离器二14内的气体制冷剂混合后经高压级压缩机15再次进行压缩。

[0031] 第三步:压缩后的高温高压的制冷剂流经高温级冷凝换热器16进行与来自流经中温级冷凝换热器13的冷却水进行再次换热后流经节流阀五17进行节流降压至气液分离器二14,气液分离器二14底部的制冷剂液体与中温级冷凝换热器13内的制冷剂混合后经节流阀三9节流后流经至气液分离器一11,气液分离器一11内的制冷剂气体被中压级压缩机20吸入并进行压缩。

[0032] 第四步:气液分离器一11内的制冷剂液体分为两路,一路经节流阀六 19节流后流

经CO<sub>2</sub>过冷器3并进行换热,另一路则经节流阀二8节流后流经低温级蒸发热交换器4进行换热后被低压级压缩机7吸入进行压缩,完成循环。

[0033] 尽管上面结合附图对本发明的优选实施例进行了描述,但是本发明并不局限于上述的具体实施方式,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,并不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可以做出很多形式,这些均属于本发明的保护范围之内。

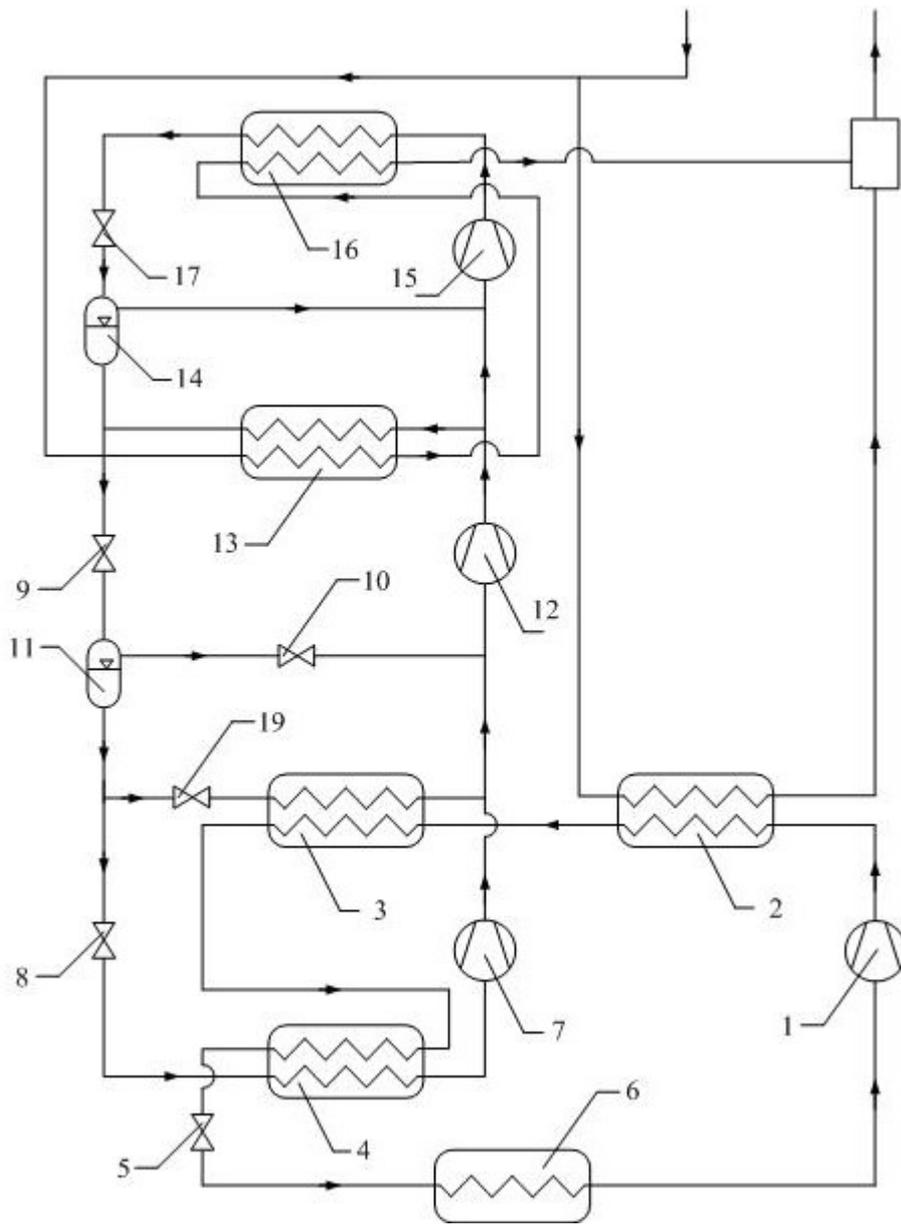


图 1

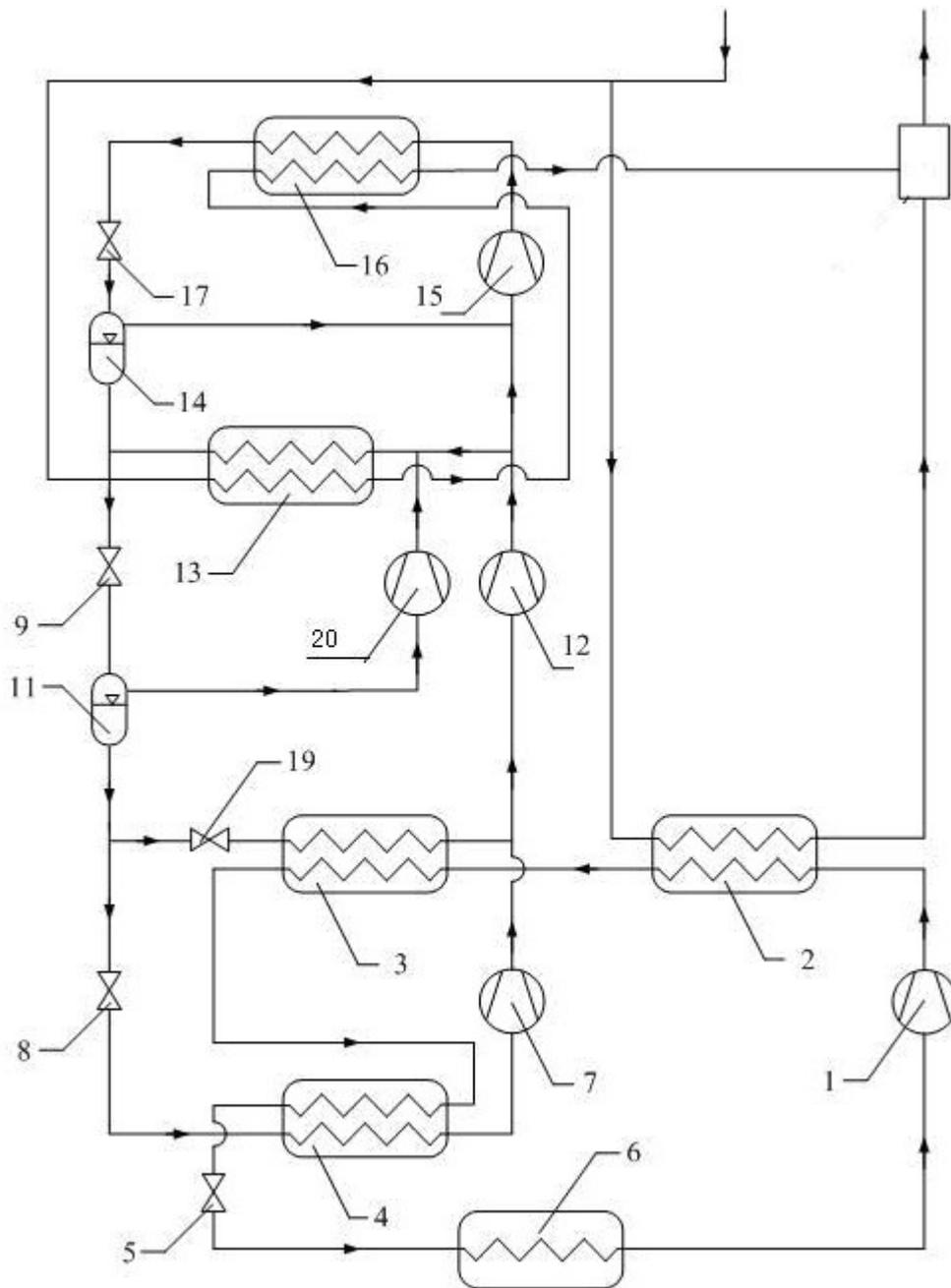


图 2