



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109850168 B

(45) 授权公告日 2020.12.01

(21) 申请号 201811651595.1

(22) 申请日 2018.12.31

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109850168 A

(43) 申请公布日 2019.06.07

(73) 专利权人 北京航空航天大学  
地址 100191 北京市海淀区学院路37号

(72) 发明人 李运泽 毛羽丰 王霁翔 李佳欣  
蔡本元

(74) 专利代理机构 北京金恒联合知识产权代理  
事务所 11324

代理人 李强

(51) Int. Cl.

B64D 37/34 (2006.01)

B64D 33/10 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106445037 A, 2017.02.22

CN 108974371 A, 2018.12.11

US 2016273529 A1, 2016.09.22

JP H07315299 A, 1995.12.05

US 2012312037 A1, 2012.12.13

US 4505124 A, 1985.03.19

EP 3279092 A1, 2018.02.07

审查员 温美仪

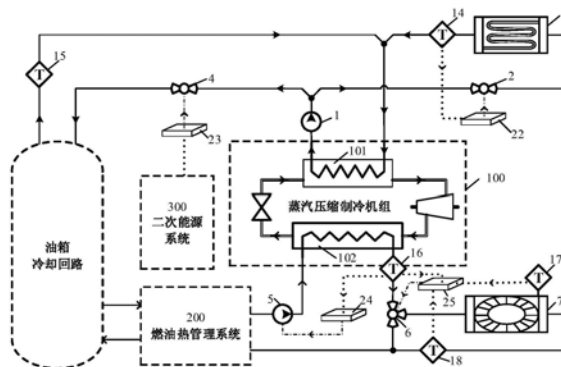
权利要求书2页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

飞机热管理系统的油箱冷却子系统

(57) 摘要

本发明提出了针对新一代高性能超声速飞机的一种飞机热管理系统的油箱冷却子系统。该新型飞机热管理系统通过低温PAO冷却回路将蒸发器与储油箱串联，利用蒸汽压缩制冷机组为燃油热沉冷却，避免燃油热沉温度升高带来的难题；蒸汽压缩制冷机组会根据二次能源系统的功率负载状况调节制冷量，合理利用二次能源系统的富余功率输出，避免二次能源系统能量过载；在发动机风道空气串联入高温PAO冷却回路中，减少热管理系统对燃油热沉的依赖，合理的利用各种机载冷源，增加整机的热沉冷却能力；油箱冷却回路利用并联分布的浸没式盘管换热器为油箱系统中各子油箱冷却，其结构简单，能根据各子油箱温度差异控制PAO冷却工质的流量，使冷却效率最大化。



1. 一种飞机热管理系统的油箱冷却子系统,其特征在于包括:

低温PAO回路,

高温PAO回路,以及

油箱冷却回路,

其中:

低温PAO回路包括并联的电子设备PAO冷却旁路和油箱PAO冷却旁路,用于利用蒸汽压缩制冷机组(100)为热载荷提供冷却,其中:所述的电子设备PAO冷却旁路始于蒸发器(101)的出口,顺次串联连接有第一PAO驱动泵(1)、第一分流阀(2)、电子设备散热器(3),其末端与蒸发器(101)入口连通;所述的油箱PAO冷却旁路始于蒸发器(101)出口,顺次连接有第一PAO驱动泵(1)、第二分流阀(4)、油箱冷却回路,其末端与蒸发器(101)入口连通;

高温PAO回路用于将蒸汽压缩制冷机组(100)的热量排散到热沉中,高温PAO回路包括依次串联的冷凝器(102)、第一三通流量阀(6)、发动机风道散热器(7)、燃油热管理系统(200)、第二PAO驱动泵(5);

油箱冷却回路利用PAO冷却工质,通过浸没式盘管换热器为其中每个子油箱冷却,

油箱冷却回路包括多个浸没式盘管换热器,每一个浸没式盘管换热器的换热器入口端分别配备有第二三通流量阀、第三三通流量阀、第四三通流量阀;

所述的飞机热管理系统的油箱冷却子系统中,分布多个控制器,包括用于控制第一分流阀(2)的第一分流阀控制器(22)、用于控制第二分流阀(4)的第二分流阀控制器(23)、用于控制第二PAO驱动泵(5)的泵控制器(24)、用于控制第一三通流量阀(6)的三通阀控制器(25)、用于控制第二三通流量、第三三通流量阀、第四三通流量阀的油箱冷却控制器(26),

进一步包括:

电子设备散热器(3)出口位置的第一温度传感器(14),

油箱冷却回路出口位置的第二温度传感器(15),

高温PAO回路中冷凝器(102)出口处的第三温度传感器(16),

发动机风道散热器(7)内置的第四温度传感器(17),

发动机风道散热器(7)的出口处的第五温度传感器(18),

各所述浸没式盘管换热器的出口端的温度传感器(19、20、21)。

2. 根据权利要求1所述的油箱冷却子系统,其特征在于:

所述的蒸汽压缩制冷机组(100)属于飞机环控系统的一部分,能够自动适应制冷量与功耗,控制PAO冷却工质出口温度稳定在一个第一预定温度。

3. 根据权利要求1所述的油箱冷却子系统,其特征在于:

所述的第一分流阀控制器(22)用于根据第一温度传感器(14)测量的温度数据控制第一分流阀(2)的开度,以满足电子设备散热器(3)的冷却需求;

所述的第二分流阀控制器(23)用于根据二次能源系统(300)的功率负载情况控制第二分流阀(4)的开度,从而调节油箱PAO冷却旁路流量,以通过调节PAO冷却工质的流量进一步控制蒸汽压缩制冷机组(100)的能耗,利用二次能源系统(300)富余功率制冷;

所述的泵控制器(24)根据第三温度传感器(16)测量的温度数据控制第二PAO驱动泵(5)的压头,从而调节高温PAO回路流量,其控制目标是将第三温度传感器(16)的温度稳定在一个第二预定温度。

4. 根据权利要求1所述的油箱冷却子系统,其特征在于:

所述的发动机风道散热器(7)是环形散热器,位于发动机外涵风道中,

三通阀控制器(25)根据第四温度传感器(17)及第五温度传感器(18)测量的温度数据控制第一三通流量阀(6)的开度,调节流经发动机风道散热器的被冷却的PAO冷却工质流量,控制目标是满足发动机风道散热器(7)的散热效率不低于80%。

5. 根据权利要求1所述的油箱冷却子系统,其特征在于:

所述的油箱冷却控制器(26)根据第二温度传感器(15)以及所述浸没式盘管换热器的出口端的温度传感器(19、20、21)的温度测量数据,控制所述第二三通流量阀、第三三通流量阀、第四三通流量阀的分流比例,其控制目标是使得PAO冷却工质在出口温度最高,从而达到PAO冷却工质的最大化利用。

6. 基于根据权利要求1所述的油箱冷却子系统的飞机热管理系统的油箱冷却方法,其特征在于包括:

利用所述第一分流阀控制器(22),根据第一温度传感器(14)测量的温度数据控制第一分流阀(2)的开度,从而满足电子设备散热器(3)的冷却需求;

利用所述第二分流阀控制器(23),根据二次能源系统(300)的功率负载情况,控制第二分流阀(4)的开度,从而调节油箱PAO冷却旁路流量,以通过调节PAO冷却工质的流量进一步控制蒸汽压缩制冷机组(100)的能耗,利用二次能源系统(300)富余功率制冷;

利用所述泵控制器(24),根据第三温度传感器(16)测量的温度数据控制第二PAO驱动泵(5)的压头,从而调节高温PAO回路流量,其控制目标是将第三温度传感器(16)的温度稳定在一个第二预定温度。

7. 根据权利要求6所述的油箱冷却方法,其特征在于进一步包括:

利用三通阀控制器(25),根据第四温度传感器(17)及第五温度传感器(18)测量的温度数据,控制第一三通流量阀(6)的开度,调节流经发动机风道散热器的被冷却PAO冷却工质流量,其控制目标是满足发动机风道散热器(7)的散热效率不低于80%,

其中,所述的发动机风道散热器(7)是环形散热器,位于发动机外涵风道中。

8. 根据权利要求6所述的油箱冷却方法,其特征在于:

利用所述油箱冷却控制器(26),根据第二温度传感器(15)以及所述浸没式盘管换热器的出口端的温度传感器(19、20、21)的温度测量数据,控制所述第二三通流量阀、第三三通流量阀、第四三通流量阀的分流比例,其控制目标是使得PAO冷却工质在出口温度最高,从而达到PAO冷却工质的最大化利用。

9. 根据权利要求6所述的油箱冷却方法,其特征在于:

所述的蒸汽压缩制冷机组(100)属于飞机环控系统的一部分,能够自动适应制冷量与功耗,控制PAO冷却工质出口温度稳定在一个第一预定温度。

10. 根据权利要求9所述的油箱冷却方法,其特征在于:

所述第一预定温度是10°C,

所述第二预定温度是70°C。

## 飞机热管理系统的油箱冷却子系统

### 技术领域

[0001] 本发明应用于飞机热管理系统及环控系统领域,尤其涉及新一代高性能超声速飞机热管理系统。

### 背景技术

[0002] 飞机热管理系统通常以燃油冷却回路为主体,燃油同时作为热沉和冷却工质为整机热载荷部件冷却,升温后的燃油一部分送往发动机燃烧,另一部分通过回流管路返回油箱。而冲压空气、蒙皮等环境热沉通常不直接对热载荷部件冷却,而是在回流管路中对高温燃油进行冷却,间接的实现热沉目标。

[0003] 新一代超声速飞机中,冲压空气、蒙皮换热器等传统热沉的总温随着马赫数的上升迅速提高,使冷却能力大幅下降;同时由于气动、隐身设计方面的考虑,环境热沉也变得越来越难以获取。这些都使得燃油热沉的地位越来越高,热管理系统越来越依赖于充足、稳定的燃油热沉。

[0004] 新一代高性能飞机增加了很多大功率功能性设备,大大增加整机热载荷,导致燃油温度越来越高,回流流量也越来越多;另一方面环境热沉冷却能力的大幅下降,不足以冷却全部的回流热油。上述的原因导致大量未经冷却的热油直接回流到油箱中使存储燃油温度不断提升。

[0005] 高性能超声速飞机热管理系统越来越依赖于燃油的冷却能力,而燃油热沉温度的不断提升使其逐渐丧失热沉冷却能力,给热管理系统带来了很大的负担。特别是在飞行任务的后期,热管理系统没有足够的低温燃油热沉支撑时,将无法有效地将整机热载荷散去,威胁飞行安全。

### 发明内容

[0006] 根据本发明的一个方面,提供了一种飞机热管理系统的油箱冷却子系统,其特征在于包括:

[0007] 低温PAO回路,

[0008] 高温PAO回路,以及

[0009] 油箱冷却回路;;

[0010] 其中:

[0011] 低温PAO回路包括并联的电子设备PAO冷却旁路和油箱PAO冷却旁路,用于利用蒸汽压缩制冷机组为热载荷提供冷却,其中:所述的电子设备PAO冷却旁路始于蒸发器的出口,顺次串联连接有PAO驱动泵、分流阀、电子设备散热器,其末端与蒸发器入口连通;所述的油箱PAO冷却旁路始于蒸发器出口,顺次连接有PAO驱动泵、分流阀、油箱冷却系统,其末端与蒸发器入口连通;

[0012] 高温PAO回路用于将蒸汽压缩制冷机组的热量排散到热沉中,高温PAO回路包括依次串联的冷凝器、PAO驱动泵、三通流量阀、发动机风道换热器、燃油热管理系统;

- [0013] 油箱冷却回路利用PAO冷却工质,通过浸没式盘管换热器为其中每个子油箱冷却,
- [0014] 油箱冷却回路包括多个浸没式盘管换热器,每一个浸没式盘管换热器的换热器入口端分别配备有三通流量控制阀;
- [0015] 所述的飞机热管理系统的油箱冷却子系统中,分布多个控制器,包括分流阀控制器用于控制分流阀、分流阀控制器用于控制分流阀、泵控制器用于控制PAO驱动泵、三通阀控制器用于控制三通流量阀、油箱冷却控制器用于控制三通流量阀,
- [0016] 进一步包括:
- [0017] 电子设备散热器出口位置的第一温度传感器,
- [0018] 油箱冷却回路出口位置的第二温度传感器,
- [0019] 高温PAO回路中冷凝器出口处的第三温度传感器,
- [0020] 发动机风道散热器内置的第四温度传感器,
- [0021] 发动机风道散热器的出口处的第五温度传感器,
- [0022] 各所述浸没式盘管换热器的出口端的温度传感器。

### 附图说明

- [0023] 图1为根据本发明的一个实施例的热管理系统燃油冷却回路的结构图。
- [0024] 图2为根据本发明的一个实施例的油箱冷却系统的结构图。
- [0025] 图3为根据本发明的一个实施例的油箱中浸没式盘管换热器的图示。
- [0026] 图4为根据本发明的一个实施例的控制器23的控制框图。
- [0027] 图5为根据本发明的一个实施例的控制器25的控制框图。
- [0028] 图6为根据本发明的一个实施例的控制器26的控制框图。

### 具体实施方式

[0029] 本发明针对现有技术高性能超声速飞机热管理系统面临的热沉不足的问题,提出了一种飞机热管理系统的油箱冷却子系统,通过环控系统内的蒸汽压缩制冷机组为油箱中的燃油热沉进行冷却,将二次能源系统富余的输出功率转化为燃油热沉,增加热管理系统的排热能力。根据本发明的油箱冷却子系统包括低温PAO冷却回路、高温PAO冷却回路、以及油箱冷却回路,其中

[0030] 所述的低温PAO回路包括并联的电子设备PAO冷却旁路和油箱PAO冷却旁路;电子设备PAO冷却旁路用于实现机载航电设备的冷却,实现低温PAO冷却回路的传统功能;油箱PAO冷却旁路用于冷却油箱中的燃油热沉,通过对旁路流量的控制调节对油箱燃油热沉的冷却量以及蒸汽压缩制冷机组的制冷量,使蒸发制冷机组的能耗符合二次能源系统的富余输出功率,避免系统能量过载;

[0031] 所述的高温PAO回路将蒸汽压缩制冷机组的热量排散到热沉中去,在高温PAO回路中串入了发动机风道换热器为辅助的热沉;发动机风道空气较冲压空气更容易获得、具有更大的流量、且不影响气动、隐身布局,缺点是温度稍高,因此非常适用于高温PAO循环中,为高温的PAO工质冷却;在高温PAO回路中串入发动机风道换热器还降低了燃油热沉的负担,减少了热管理系统对燃油热沉的依赖,增加热管理系统的排热能力;

[0032] 所述的油箱冷却回路与冷PAO回路连通,利用低温的PAO冷却工质为油箱中的燃油

热沉冷却;油箱冷却回路通过并联排布的浸没式盘管换热器为油箱系统中各子油箱冷却,低温的PAO工质流经盘管换热器通过管壁与油箱中的燃油换热完成冷却任务;在与各子油箱对应的盘管式换热器入口位置分别设置有三通流量阀,用于控制经过各换热器的PAO冷却工质的流量,调节对每个子油箱的冷却量,能够根据需求合理的利用低温冷源。

[0033] 包括根据本发明的油箱冷却子系统的飞机热管理系统的优点包括:

[0034] 蒸汽压缩制冷机组、低温PAO回路、以及高温PAO回路属于传统环控系统的一部分,除增加的管路和阀组外不会增加额外起飞重量;

[0035] 所采用的蒸汽压缩循环利用二次能源系统输出的富余能量为燃油热沉冷却;二次能源系统所能提供的功率输出与发动机的推力水平成正比,而整机对二次能源的需求并不一定与发动机功率输出成正比,按照目前多数飞机峰值能量需求的二次能源系统设计方法,势必会导致很大一部分能量的浪费;利用这部分能量用于燃油制冷可以增加热管理系统的冷却能力,能够避免二次能源系统能量过载,充分利用二次能源系统的发电能力;

[0036] 本发明将发动机风道换热器串联在高温PAO回路中,为热管理系统增加了额外的热沉,其具有较强的冷却能力且不影响飞机气动、隐身布局,减少了燃油热沉的负担,增加了热管理系统的热排散能力;

[0037] 采用分散控制系统,且只基于温度测量,结构简单易于实现,且具有很高的可靠性。

[0038] 以下结合附图对根据本发明的飞机热管理系统的油箱冷却子系统进行详细说明。

[0039] 如附图1所示,飞机热管理系统的油箱冷却子系统包括低温PAO回路、高温PAO回路、以及油箱冷却回路。

[0040] 低温PAO回路利用蒸汽压缩制冷机组(100)的制冷量为电子设备及燃油热沉冷却,包括并联的电子设备PAO冷却旁路和油箱PAO冷却旁路,即:蒸发器(101)出口的低温PAO工质被驱动泵1抽出后,经分流阀2/4分流为两路,分别流经电子设备散热器3,以及油箱冷却回路;

[0041] 高温PAO回路将蒸汽压缩制冷机组(100)抽运及自身产生的热量排散至热沉中,其中顺次串联有驱动泵5、冷凝器102、三通分流阀6、发动机风道换热器7、以及燃油热管理系统200。

[0042] 如图2所示,油箱冷却回路与低温PAO回路连通,通过并联分布的浸没式盘管换热器为油箱中的燃油热沉冷却。并联分布的浸没式盘管换热器与油箱系统中各子油箱一一对应,包括换热器8、9、10,在每个换热器入口位置分别配备有三通流量阀11、12、13,用于调节流经每个换热器的冷却工质的流量。

[0043] 如图3所示为浸没式盘管换热器的剖面图示,浸没式盘管换热器被安置于对应油箱的内部,通过管壁与存储燃油热沉的接触换热,利用管道中流动的低温的PAO工质将燃油热沉的热量带走,为其提供冷却。

[0044] 如图1和2所示,在根据本发明的一个实施例的燃油冷却回路中,控制对象包括:

[0045] 第一分流阀控制器22,用于第一控制分流阀(2),

[0046] 第二分流阀控制器23,用于控制分流阀4,

[0047] 泵控制器24,用于控制PAO驱动泵5,

[0048] 三通阀控制器25,用于控制三通流量阀6,

[0049] 油箱冷却控制器26,用于控制三通流量阀11、12、13;

[0050] 系统中分布的若干用于控制的温度传感器,包括:低温PA0回路中电子设备散热器3出口位置的温度传感器14、油箱冷却回路出口位置的温度传感器15、高温PA0回路中冷凝器102出口的温度传感器16、发动机风道散热器7内置的温度传感器17、发动机风道散热器7出口的温度传感器18、油箱冷却回路中各浸没式盘管换热器8、9、10出口端的温度传感器19、20、21。

[0051] 低温PA0回路中,PA0驱动泵1的压头在任意时刻保持稳定,流量控制器2根据温度传感器14的温度测量数据 $T_{14}$ 控制分流阀2的开度 $v_2$ ,调整电子设备PA0冷却旁路的流量,控制目标是将电子设备散热器3的出口温度,即温度传感器14的测量温度 $T_{14}$ ,稳定在要求的温度 $T_{14} \rightarrow T_{Avi}$ ,通常 $T_{Avi}$ 在 $30^\circ\text{C}$ 左右,即满足电子设备的散热需求,又避免了冷源的浪费。

[0052] 此外,如图4所示,在低温PA0回路中,控制器23根据二次能源系统300的能量负载状况 $\delta$ (%)控制分流阀4的开度,调整油箱PA0冷却旁路的流量。由于蒸汽压缩制冷机组100能够根据冷PA0回路的流量和温度自适应的调节制冷量,满足蒸发器出口温度稳定在较低的温度状态( $10^\circ\text{C}$ 左右),因此通过调节油箱PA0冷却旁路的流量可以直接影响到蒸汽压缩制冷机组100的能耗。当二次能源系统300的能量负载未达到满负荷( $\delta < 100\%$ )时,则增加分流阀4的开度 $v_4$ ,加强蒸汽压缩制冷机组100的制冷量,控制目标是利用二次能源系统富余的功率输出 $\delta \rightarrow 100\%$ ,将其转化为燃油热沉能力。

[0053] 高温PA0回路中,泵控制器24根据温度传感器16测量的冷凝器102出口的PA0工质温度 $T_{16}$ 控制驱动泵5的压头 $P_5$ ,调整高温PA0回路的工质流量,控制目标是将其出口温度稳定在合适的温度 $T_{16} \rightarrow T_{hotPA0}$ 。 $T_{hotPA0}$ 应当满足蒸汽压缩制冷机组冷凝器102(通常 $80^\circ\text{C}$ 以上)的冷却需求,同时尽量提升温度利用下游发动机风道换热器7对其冷却。

[0054] 此外,如图5所示,高温PA0回路中控制器25根据温度传感器16、18测量的风道换热器7进出口工质温度 $T_{16}$ 、 $T_{18}$ 以及温度传感器17测量的风道空气热沉温度 $T_{18}$ ,控制三通流量阀6通往换热器方向的开度 $v_6$ ,调整通过换热器被冷却PA0工质的流量。当风道空气热沉温度低于换热器入口PA0温度 $T_{17} < T_{16}$ 时,调节三通流量阀6通往换热器方向的开度,满足出口温度:

$$[0055] \quad v_6 : \frac{(T_{16} - T_{18})}{(T_{16} - T_{17})} \rightarrow 0.8$$

[0056] 即风道换热器的换热效率达到 $80\%$ ;当风道空气热沉温度高于换热器入口PA0温度 $T_{17} > T_{16}$ 时,闭合三通流量阀6通往换热器方向的开度。

[0057] 如图6所示,控制器26根据温度传感器15测量的PA0冷却工质入口温度 $T_{15}$ ,以及温度传感器19、20、21测量的换热器8、9、10出口PA0工质温度 $T_{19}$ 、 $T_{20}$ 、 $T_{21}$ 控制三通流量阀11、12、13的开度,调整通往各油箱的冷却工质流量,控制目标是冷却工质的最大化利用。易知当所有换热器出口冷却工质温度一致时,混合后的出口工质温度能达到最高,因此阀11、12、13的控制策略如下:

$$[0058] \quad v_{11} : T_{19} \rightarrow \text{ave}(T_{19}, T_{20}, T_{21})$$

$$[0059] \quad v_{12} : T_{20} \rightarrow \text{ave}(T_{19}, T_{20}, T_{21})$$

$$[0060] \quad v_{13} : T_{21} \rightarrow \text{ave}(T_{19}, T_{20}, T_{21})。$$

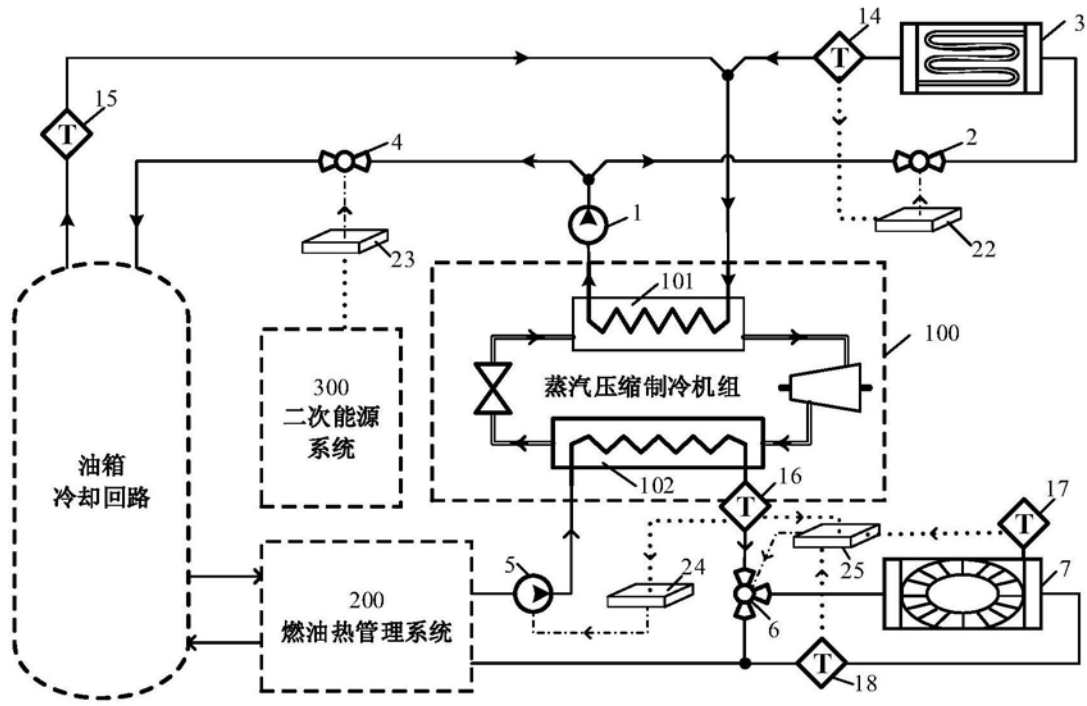


图1



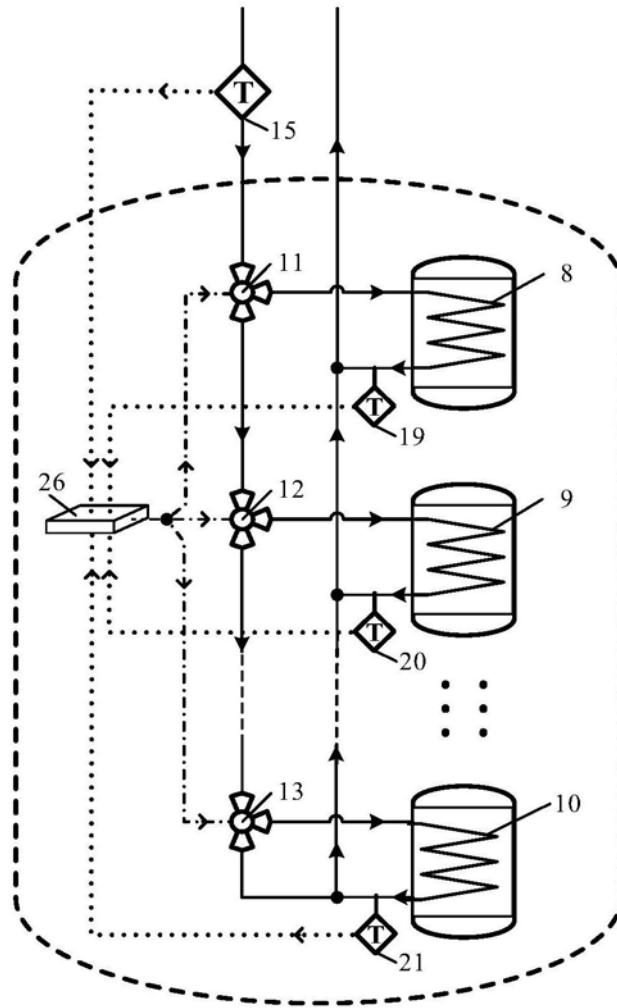


图2

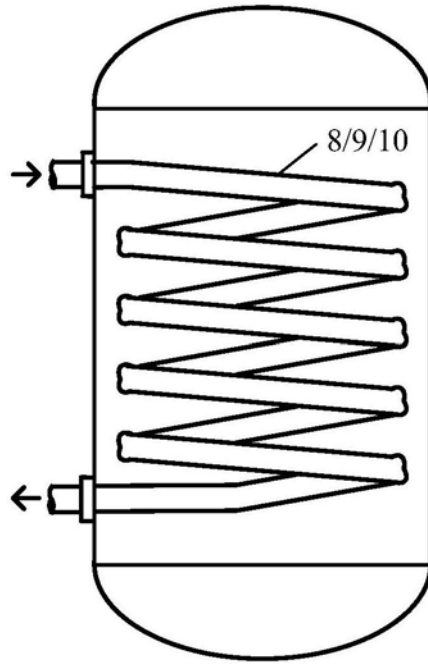


图3

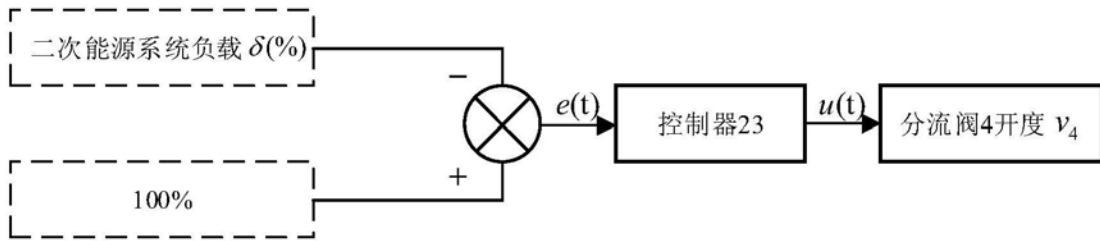


图4

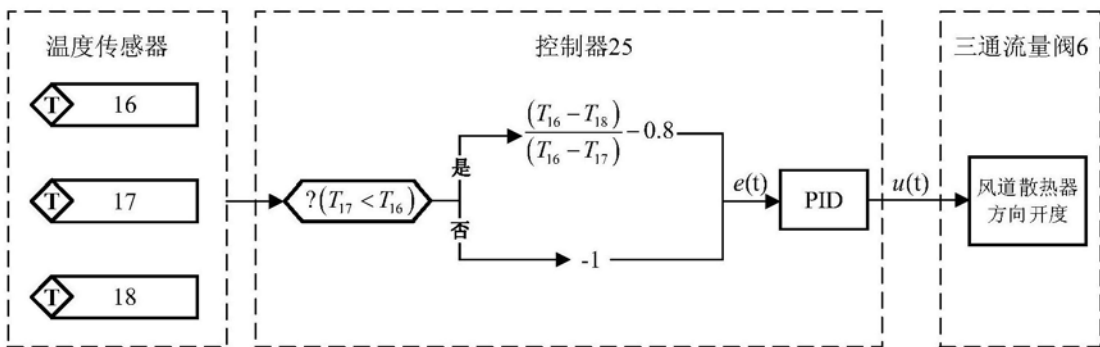


图5

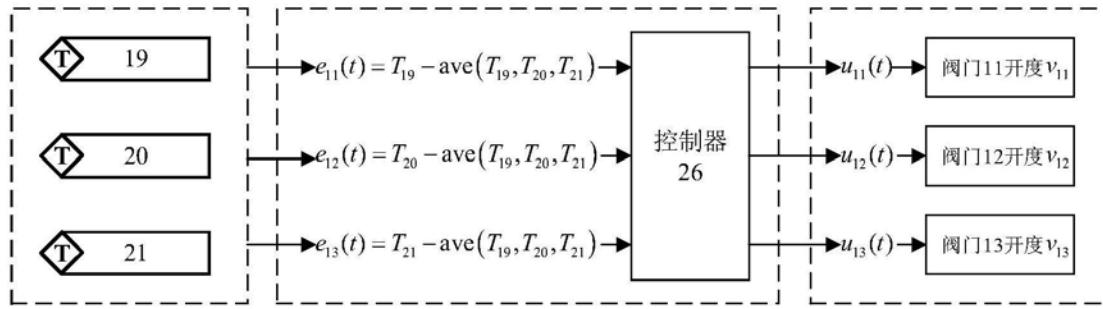


图6