



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111439167 A

(43)申请公布日 2020.07.24

(21)申请号 202010199241.9

(22)申请日 2020.03.20

(71)申请人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园1号

(72)发明人 李建秋 刘慧泽 徐梁飞 胡尊严

欧阳明高

(74)专利代理机构 北京华进京联知识产权代理

有限公司 11606

代理人 魏朋

(51)Int.Cl.

B60L 58/33(2019.01)

B60L 58/34(2019.01)

B60H 1/00(2006.01)

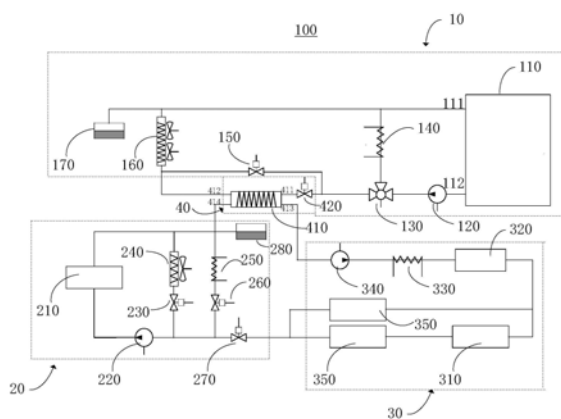
权利要求书4页 说明书11页 附图1页

(54)发明名称

燃料电池汽车多环境综合热管理方法

(57)摘要

本申请提供一种燃料电池汽车多环境综合热管理方法,可实现对不同环境温度采用不同的控制模式。在常温环境模式下,即第一控制模式下,通过前馈控制和反馈控制方法,可以确保温度控制的精确性和稳定性。在第二控制模式下,且高温环境模式下,采用动力系统协同控制,降低燃料电池工作电流,提高燃料电池效率,以减少燃料电池系统产热,解决了高温环境下冷却系统散热压力大的问题。在第二控制模式下,且低温环境模式下充分利用燃料电池系统余热,在保证燃料电池系统和车厢内温度的同时,降低了整车能量消耗。从而,在面对一年四季复杂多变的环境下,可以保证燃料电池系统温度控制的精确性和稳定性,并且大大降低整车的能耗,提高整车的经济性,增加续航里程。



1. 一种燃料电池汽车多环境综合热管理方法,其特征在于,所述燃料电池汽车多环境综合热管理方法应用于燃料电池热管理子系统(10),所述燃料电池热管理子系统(10)包括燃料电池系统(110)、第一水泵(120)、第一阀门(130)、第一加热器(140)、第二阀门(150)、第一散热器(160)以及第一水箱(170),所述燃料电池系统(110)具有冷却液入口(111)与冷却液出口(112);

所述冷却液入口(111)与所述第一加热器(140)输出端连接,所述第一加热器(140)输入端与所述第一阀门(130)第一端连接,所述第一阀门(130)第二端与所述第一水泵(120)输出端连接,所述第一水泵(120)输入端与所述冷却液出口(112)连接;

所述冷却液入口(111)与所述第一散热器(160)输出端连接,所述第一散热器(160)输入端与所述第二阀门(150)第一端连接,所述第二阀门(150)第二端与所述第一阀门(130)第三端连接;

所述第一加热器(140)、所述第一阀门(130)、所述第一水泵(120)以及所述燃料电池系统(110)形成小循环系统;

所述第一散热器(160)、所述第二阀门(150)、所述第一阀门(130)、所述第一水泵(120)以及所述燃料电池系统(110)形成大循环系统;

所述燃料电池汽车多环境综合热管理方法包括:

检测当前环境温度 $T$ ;

当所述当前环境温度 $T$ 不小于所述第一环境温度阈值 $T_1$ 时,控制所述燃料电池汽车进入第一控制模式;

所述第一控制模式包括:

获取所述第一水泵(120)的水泵转速 $n_{\text{pump}}$ 和/或所述第一阀门(130)的开度 $\alpha$ 和/或所述第一散热器(160)的风扇开关 $u_{\text{fan}}$ ;

根据所述水泵转速 $n_{\text{pump}}$ 和/或所述开度 $\alpha$ 和/或所述风扇开关 $u_{\text{fan}}$ 进行前馈控制;

检测所述燃料电池系统(110)的当前燃料电池实际温度 $T_{\text{fc}}$ ,根据所述燃料电池实际温度 $T_{\text{fc}}$ 与所述燃料电池目标温度 $T_2$ 的偏差量进行反馈控制,获得补偿量;

根据所述补偿量,对前馈控制进行补偿,控制所述燃料电池系统(110)的燃料电池温度达到燃料电池目标温度 $T_2$ 。

2. 如权利要求1所述的燃料电池汽车多环境综合热管理方法,其特征在于,根据所述水泵转速 $n_{\text{pump}}$ 和/或所述开度 $\alpha$ 和/或所述风扇开关 $u_{\text{fan}}$ 进行前馈控制,控制所述燃料电池系统(110)的燃料电池温度达到燃料电池目标温度 $T_2$ ,包括:

根据所述水泵转速 $n_{\text{pump}}$ ,通过水泵模型获得冷却液质量流量 $W_w$ ;

根据所述风扇开关 $u_{\text{fan}}$ 与所述冷却液质量流量 $W_w$ ,通过散热器风扇模型获得所述第一散热器(160)的出口冷却液温度为 $T_{w,\text{rad},\text{out}}$ ;

根据所述开度 $\alpha$ 与所述出口冷却液温度为 $T_{w,\text{rad},\text{out}}$ ,通过冷却液混合模型获得混合点冷却液温度 $T_{w,m}$ ;

根据所述水泵转速 $n_{\text{pump}}$ 和/或所述开度 $\alpha$ 和/或所述风扇开关 $u_{\text{fan}}$ ,通过所述水泵模型、所述散热器风扇模型以及所述冷却液混合模型,控制所述混合点冷却液温度 $T_{w,m}$ 达到所述燃料电池目标温度 $T_2$ 。

3. 如权利要求2所述的燃料电池汽车多环境综合热管理方法,其特征在于,所述第一控

制模式还包括：

根据所述燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 与所述燃料电池目标温度 $T_2$ 的偏差量进行反馈控制，获得冷却液温度补偿量；

根据所述冷却液温度补偿量，对所述混合点冷却液温度 $T_{w,m}$ 进行补偿，达到所述燃料电池目标温度 $T_2$ 。

4. 如权利要求1所述的燃料电池汽车多环境综合热管理方法，其特征在于，所述第一控制模式还包括：

检测当前燃料电池实际温度 $T_{fc}$ ，当所述燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 小于燃料电池目标温度 $T_2$ 时，控制所述小循环系统工作；

当所述燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 大于所述燃料电池目标温度 $T_2$ 时，控制所述大循环系统工作，或者控制减小所述燃料电池系统(110)的燃料电池工作电流且增大所述燃料电池系统(110)的燃料电池工作电压。

5. 如权利要求1所述的燃料电池汽车多环境综合热管理方法，其特征在于，所述燃料电池汽车还包括动力电池热管理子系统(20)、车舱暖风加热子系统(30)以及热交换子系统(40)；

所述动力电池热管理子系统(20)包括动力电池(210)、第二水泵(220)、第四阀门(230)、第二散热器(240)、第二加热器(250)、第三阀门(260)以及第五阀门(270)；

所述车舱暖风加热子系统(30)包括取暖器(310)、除霜器(320)、第三加热器(330)、第三水泵(340)以及散热器模块(350)；

所述热交换子系统(40)包括换热器(410)与第六阀门(420)；

所述第六阀门(420)第一端与所述第一阀门(130)第三端连接，所述第六阀门(420)第二端与所述换热器(410)第一入口(411)连接，所述换热器(410)第一出口(412)与所述第一散热器(160)输入端连接；

所述换热器(410)第二入口(414)与所述第二加热器(250)输入端连接，所述动力电池(210)冷却液出口与所述第二加热器(250)输入端连接，所述第二加热器(250)输出端与所述第三阀门(260)第一端连接，所述第三阀门(260)第二端与所述第二水泵(220)输入端连接，所述第二水泵(220)输出端与所述动力电池(210)冷却液入口连接，所述第二散热器(240)输入端与所述动力电池(210)冷却液出口连接，所述第二散热器(240)输出端与所述第四阀门(230)第一端连接，所述第四阀门(230)第二端与所述第二水泵(220)输入端连接，所述第三阀门(260)第二端与所述第五阀门(270)第一端连接；

所述换热器(410)第二出口(413)与所述第三水泵(340)输入端连接，所述第三水泵(340)输出端与所述第三加热器(330)输入端连接，所述第三加热器(330)输出端与所述除霜器(320)输入端连接，所述除霜器(320)输出端与所述司机取暖器(310)输入端连接，所述司机取暖器(310)输出端与所述散热器模块(350)输入端连接，所述散热器模块(350)输出端与所述第五阀门(270)第二端连接；

当所述当前环境温度 $T$ 小于所述第一环境温度阈值 $T_1$ 时，控制所述燃料电池汽车进入第二控制模式，所述第二控制模式包括：

根据热平衡模型，获得车厢温度不变时，车厢内所需供暖量 $Q_{T,tgt}$ ，所述热平衡模型为

$$c_p \rho_g V_{\text{cabin}} \frac{dT_{\text{cabin}}}{dt} = Q_T + Q_B + Q_W + Q_E + Q_V + Q_p$$

其中,  $c_p$  为车厢内空气的比热容,  $\rho_g$  为车厢内空气的密度,  $V_{\text{cabin}}$  为车厢体积,  $T_{\text{cabin}}$  为车厢温度,  $Q_T$  为所述换热器 (410) 向车厢内提供的热量,  $Q_B$  为通过车体围护结构传入车厢的热量,  $Q_W$  为通过各玻璃表面进入车厢的热量,  $Q_E$  为动力舱传入车厢的热量,  $Q_V$  为由于通风和密封性差而从外界泄露进车厢的热量,  $Q_p$  为乘员散发的热量;

当所述车厢内所需供暖量  $Q_{T, \text{tgt}}$  由所述换热器 (410) 提供, 获取所述大循环系统中冷却液流量  $Q_{h, \text{fc}}$ , 其中

$$Q_{T, \text{tgt}} = \rho C_w Q_{h, \text{fc}} \cdot (T_{w, \text{out}} - T_{h, \text{fc}, \text{out}})$$

$\rho$  为冷却液密度,  $C_w$  为冷却液的比热容,  $T_{w, \text{out}}$  为所述冷却液出口 (112) 的冷却液温度,  $T_{h, \text{fc}, \text{out}}$  为所述换热器 (410) 的所述第二出口 (413) 的冷却液温度;

根据所述大循环系统中冷却液流量  $Q_{h, \text{fc}}$ , 获取流经所述换热器 (410) 的流量  $Q_1$ , 其中

$$Q_1 = \frac{Q_{h, \text{fc}}}{1 + f(\alpha_1, \alpha_2)}$$

$\alpha_1$  和  $\alpha_2$  分别为所述第六阀门 (420)、所述第二阀门 (150) 的开度,  $f(\alpha_1, \alpha_2)$  为  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  的函数。

6. 如权利要求5所述的燃料电池汽车多环境综合热管理方法, 其特征在于, 所述第二控制模式还包括:

根据所述大循环系统中冷却液流量  $Q_{h, \text{fc}}$ , 获得所述第一水泵 (120) 的转速。

7. 如权利要求5所述的燃料电池汽车多环境综合热管理方法, 其特征在于, 所述第二控制模式还包括:

根据所述车厢内所需供暖量  $Q_{T, \text{tgt}}$ , 获得所述第三加热器 (330) 的前馈功率;

获取燃料电池实际温度与燃料电池目标温度, 并根据所述燃料电池实际温度与所述燃料电池目标温度的偏差量进行反馈控制, 获得反馈功率补偿量;

根据所述反馈功率补偿量对所述第三加热器 (330) 的前馈功率进行补偿, 获得所述第三加热器 (330) 的功率。

8. 如权利要求5所述的燃料电池汽车多环境综合热管理方法, 其特征在于, 所述第二控制模式还包括:

根据所述大循环系统中冷却液流量  $Q_{h, \text{fc}}$ , 获得所述第一阀门 (130) 的前馈开度;

获取车厢实际温度与车厢目标温度, 并根据所述车厢实际温度与所述车厢目标温度的偏差量进行反馈控制, 获得反馈开度补偿量;

根据所述反馈开度补偿量对所述第一阀门 (130) 的前馈开度进行补偿, 获得所述第一阀门 (130) 的开度。

9. 如权利要求5所述的燃料电池汽车多环境综合热管理方法, 其特征在于, 所述第二控制模式还包括:

当所述燃料电池系统 (110) 产热小于向外界环境的散热时, 控制所述小循环系统工作, 控制所述第一加热器 (140)、所述第二加热器 (250) 以及所述第三加热器 (330) 进行加热;

当所述燃料电池系统 (110) 产热大于向外界环境的散热时, 且当所述小循环系统中冷却液温度达到冷却液目标温度时, 控制所述大循环系统工作;

当所述大循环系统中冷却液温度达到冷却液目标温度时,将所述第六阀门(420)开启。

10.如权利要求3或权利要求7或权利要求8中所述的燃料电池汽车多环境综合热管理方法,其特征在于,通过PID控制算法、鲁棒预测控制算法或 $H_{\infty}$ 控制算法进行反馈控制。

11.如权利要求7所述的燃料电池汽车多环境综合热管理方法,其特征在于,根据所述第六阀门(420)开度与所述第二阀门(150)开度控制冷却液流量时,通过滑模控制算法进行控制。

## 燃料电池汽车多环境综合热管理方法

### 技术领域

[0001] 本申请涉及新能源汽车技术领域,特别是涉及一种燃料电池汽车多环境综合热管理方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,新能源汽车快速发展,其中燃料电池因其高效、清洁、无污染等优点受到广泛关注,在交通运输领域具有广阔的发展前景。尤其在商用车领域,燃料电池汽车和纯电动汽车相比具有更长的续航里程。但与传统内燃机汽车相比,燃料电池的工作温度相对较低,依靠环境进行温差散热的压力大,因此燃料电池汽车在热管理方面仍面临较大挑战。

[0003] 其中,工作环境温度对燃料电池的性能有很大影响。然而,在面对不同的工作环境时,传统的燃料电池汽车热管理方法仅考虑燃料电池的冷却散热,未充分利用燃料电池工作时产生的余热。或者,仅利用燃料电池的余热为整车进行供暖,没有考虑动力电池保温等问题。因此,通过传统的燃料电池汽车热管理方法,使得燃料电池系统温度控制不稳定、不精确,且整车能耗较高,经济实用性差。

### 发明内容

[0004] 基于此,有必要针对传统燃料电池汽车热管理方法的燃料电池系统温度控制不稳定、能耗高的问题,提供一种燃料电池汽车多环境综合热管理方法。

[0005] 本申请提供一种燃料电池汽车多环境综合热管理方法。所述燃料电池汽车多环境综合热管理方法应用于燃料电池热管理子系统。所述燃料电池热管理子系统包括燃料电池系统、第一水泵、第一阀门、第一加热器、第二阀门、第一散热器以及第一水箱。所述燃料电池系统具有冷却液入口与冷却液出口。所述冷却液入口与所述第一加热器输出端连接。所述第一加热器输入端与所述第一阀门第一端连接。所述第一阀门第二端与所述第一水泵输出端连接。所述第一水泵输入端与所述冷却液出口连接。所述冷却液入口与所述第一散热器输出端连接,所述第一散热器输入端与所述第二阀门第一端连接,所述第二阀门第二端与所述第一阀门第三端连接。所述第一加热器、所述第一阀门、所述第一水泵以及所述燃料电池系统形成小循环系统。所述第一散热器、所述第二阀门、所述第一阀门、所述第一水泵以及所述燃料电池系统形成大循环系统。

[0006] 所述燃料电池汽车多环境综合热管理方法包括:

[0007] 检测当前环境温度 $T$ ;

[0008] 当所述当前环境温度 $T$ 不小于所述第一环境温度阈值 $T_1$ 时,控制所述燃料电池汽车进入第一控制模式;

[0009] 所述第一控制模式包括:

[0010] 获取所述第一水泵的水泵转速 $n_{\text{pump}}$ 和/或所述第一阀门的开度 $\alpha$ 和/或所述第一散热器的风扇开关 $u_{\text{fan}}$ ;

[0011] 根据所述水泵转速 $n_{\text{pump}}$ 和/或所述开度 $\alpha$ 和/或所述风扇开关 $u_{\text{fan}}$ 进行前馈控制;

[0012] 检测所述燃料电池系统的当前燃料电池实际温度 $T_{fc}$ ,根据所述燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 与所述燃料电池目标温度 $T_2$ 的偏差量进行反馈控制,获得补偿量;

[0013] 根据所述补偿量,对前馈控制进行补偿,控制所述燃料电池系统的燃料电池温度达到燃料电池目标温度 $T_2$ 。

[0014] 本申请提供一种上述燃料电池汽车多环境综合热管理方法,第一环境温度阈值 $T_1$ 为动力电池保温或车厢供暖的环境温度阈值。水泵转速 $n_{pump}$ 、开度 $\alpha$ 、风扇开关 $u_{fan}$ 之间可以任意组合,可以为一个、二个或者三个参数共同进行前馈控制。根据实时检测当前环境温度 $T$ ,并与第一环境温度阈值 $T_1$ 进行比较,可以实时获知所述燃料电池汽车的温度状态,以便进入相应的控制模式。同时,根据燃料电池热管理子系统形成的燃料电池冷却系统,可以实时获取燃料电池热管理子系统中第一水泵、第一阀门以及第一散热器的工作状态。并根据第一水泵、第一阀门以及第一散热器的工作状态,通过燃料电池汽车多环境综合热管理方法进行控制。并且,通过实时监测当前燃料电池实际温度 $T_{fc}$ ,并与燃料电池目标温度 $T_2$ 进行比较,获知偏差量,对前馈控制进行补偿。从而,采用反馈控制的控制方式,可以对前馈控制进行补偿,控制所述燃料电池系统的燃料电池温度达到燃料电池目标温度 $T_2$ 。因此,通过燃料电池汽车多环境综合热管理方法可以保证所述燃料电池系统的燃料电池温度控制在燃料电池目标温度 $T_2$ ,使得温度维持在合适的范围内,确保了温度控制的稳定性和精确性。

## 附图说明

[0015] 图1为本申请提供的一体化热管理系统的结构示意图;

[0016] 图2为本申请提供的燃料电池热管理子系统的大循环系统和小循环系统的结构示意图。

[0017] 附图标记说明

[0018] 一体化热管理系统100、燃料电池热管理子系统10、动力电池热管理子系统20、车舱暖风加热子系统30、热交换子系统40、燃料电池系统110、第一水泵120、第一阀门130、第一加热器140、第二阀门150、第一散热器160、第一水箱170、冷却液入口111、冷却液出口112、动力电池热管理子系统20、动力电池210、第二水泵220、第四阀门230、第二散热器240、第二加热器250、第三阀门260、第五阀门270、取暖器310、除霜器320、第三加热器330、第三水泵340、散热器模块350、换热器410、第六阀门420。

## 具体实施方式

[0019] 为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下通过实施例,并结合附图,对本申请进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本申请,并不用于限定本申请。

[0020] 本文中为部件所编序号本身,例如“第一”、“第二”等,仅用于区分所描述的对象,不具有任何顺序或技术含义。而本申请所说“连接”、“联接”,如无特别说明,均包括直接和间接连接(联接)。在本申请的描述中,需要理解的是,术语“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”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申请和简化描述,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

为对本申请的限制。

[0021] 在本申请中,除非另有明确的规定和限定,第一特征在第二特征“上”或“下”可以是第一和第二特征直接接触,或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且,第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方,或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方,或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

[0022] 请参见图1,本申请提供一种燃料电池汽车多环境综合热管理方法。所述燃料电池汽车多环境综合热管理方法应用于燃料电池汽车。所述燃料电池汽车包括一体化热管理系统100。所述一体化热管理系统100包括燃料电池热管理子系统10、动力电池热管理子系统20、车舱暖风加热子系统30以及热交换子系统40。所述燃料电池热管理子系统10包括燃料电池系统110、第一水泵120、第一阀门130、第一加热器140、第二阀门150、第一散热器160以及第一水箱170。所述燃料电池系统110具有冷却液入口111与冷却液出口112。所述冷却液入口111与所述第一加热器140输出端连接。所述第一加热器140输入端与所述第一阀门130第一端连接。所述第一阀门130第二端与所述第一水泵120输出端连接。所述第一水泵120输入端与所述冷却液出口112连接。

[0023] 所述冷却液入口111与所述第一散热器160输出端连接。所述第一散热器160输入端与所述第二阀门150第一端连接。所述第二阀门150第二端与所述第一阀门130第三端连接。所述第一加热器140、所述第一阀门130、所述第一水泵120以及所述燃料电池系统110形成小循环系统。所述第一散热器160、所述第二阀门150、所述第一阀门130、所述第一水泵120以及所述燃料电池系统110形成大循环系统。

[0024] 所述动力电池热管理子系统20包括动力电池210、第二水泵220、第四阀门230、第二散热器240、第二加热器250、第三阀门260以及第五阀门270。所述车舱暖风加热子系统30包括取暖器310、除霜器320、第三加热器330、第三水泵340以及散热器模块350。所述热交换子系统40包括换热器410与第六阀门420。

[0025] 所述第六阀门420第一端与所述第一阀门130第三端连接。所述第六阀门420第二端与所述换热器410的第一入口411连接。所述换热器410第一出口412与所述第一散热器160输入端连接。

[0026] 所述换热器410第二入口414与所述第二加热器250输入端连接。所述动力电池210冷却液出口与所述第二加热器250输入端连接。所述第二加热器250输出端与所述第三阀门260第一端连接。所述第三阀门260第二端与所述第二水泵220输入端连接。所述第二水泵220输出端与所述动力电池210冷却液入口连接。所述第二散热器240输入端与所述动力电池210冷却液出口连接。所述第二散热器240输出端与所述第四阀门230第一端连接。所述第四阀门230第二端与所述第二水泵220输入端连接。所述第三阀门260第二端与所述第五阀门270第一端连接。

[0027] 所述换热器410的第二出口413与所述第三水泵340输入端连接。所述第三水泵340输出端与所述第三加热器330输入端连接。所述第三加热器330输出端与所述除霜器320输入端连接。所述除霜器320输出端与所述司机取暖器310输入端连接。所述司机取暖器310输出端与所述散热器模块350输入端连接。所述散热器模块350输出端与所述第五阀门270第二端连接。



- [0028] 所述燃料电池汽车多环境综合热管理方法包括：
- [0029] 检测当前环境温度 $T$ ；
- [0030] 当所述当前环境温度 $T$ 不小于所述第一环境温度阈值 $T_1$ 时，控制所述燃料电池汽车进入第一控制模式；
- [0031] 所述第一控制模式包括：
- [0032] 获取所述第一水泵120的水泵转速 $n_{\text{pump}}$ 和/或所述第一阀门130的开度 $\alpha$ 和/或所述第一散热器160的风扇开关 $u_{\text{fan}}$ ；
- [0033] 根据所述水泵转速 $n_{\text{pump}}$ 和/或所述开度 $\alpha$ 和/或所述风扇开关 $u_{\text{fan}}$ 进行前馈控制；
- [0034] 检测所述燃料电池系统110的当前燃料电池实际温度 $T_{\text{fc}}$ ，根据所述燃料电池实际温度 $T_{\text{fc}}$ 与所述燃料电池目标温度 $T_2$ 的偏差量进行反馈控制，获得补偿量；
- [0035] 根据所述补偿量，对前馈控制进行补偿，控制所述燃料电池系统110的燃料电池温度达到燃料电池目标温度 $T_2$ ；
- [0036] 否则，控制所述燃料电池汽车进入第二控制模式。
- [0037] 本实施例中，所述第一环境温度阈值 $T_1$ 为动力电池保温或车厢供暖的环境温度阈值。所述水泵转速 $n_{\text{pump}}$ 、所述开度 $\alpha$ 、所述风扇开关 $u_{\text{fan}}$ 之间可以任意组合，可以为一个、二个或者三个参数共同进行前馈控制。根据实时检测当前环境温度 $T$ ，并与第一环境温度阈值 $T_1$ 进行比较，可以实时获知所述燃料电池汽车的温度状态，以便进入相应的控制模式。同时，根据燃料电池热管理子系统10形成的燃料电池冷却系统，可以实时获取燃料电池热管理子系统10中第一水泵120、第一阀门130以及第一散热器160的工作状态。并根据第一水泵120、第一阀门130以及第一散热器160的工作状态，通过燃料电池汽车多环境综合热管理方法进行控制。并且，通过实时监测当前燃料电池实际温度 $T_{\text{fc}}$ ，并与燃料电池目标温度 $T_2$ 进行比较，获知偏差量，对前馈控制进行补偿。从而，采用反馈控制的控制方式，可以对前馈控制进行补偿，控制所述燃料电池系统110的燃料电池温度达到燃料电池目标温度 $T_2$ 。因此，通过燃料电池汽车多环境综合热管理方法可以保证所述燃料电池系统110的燃料电池温度控制在燃料电池目标温度 $T_2$ ，使得温度维持在合适的范围内，确保了温度控制的稳定性和精确性。
- [0038] 在一个实施例中，所述第一控制模式还包括获取第一加热器140功率和/或第一散热器160的风扇转速等相关参数，实现前馈控制。
- [0039] 当所述当前环境温度 $T$ 不小于所述第一环境温度阈值 $T_1$ 时，控制所述燃料电池汽车进入第一控制模式。此时，处于常温工作环境，通过燃料电池汽车多环境综合热管理方法中第一控制模式控制燃料电池热管理子系统10运行过程中温度维持在合适的范围内，以保证控制的稳定性和精确性。
- [0040] 当所述当前环境温度 $T$ 小于所述第一环境温度阈值 $T_1$ 时，此时，处于寒冷环境，通过燃料电池汽车多环境综合热管理方法中第二控制模式解决燃料电池快速升温启动、动力电池保温和车厢内供暖等问题。当温度逐渐升高后，处于炎热环境，燃料电池系统的散热压力增大，通过燃料电池汽车多环境综合热管理方法控制一体化热管理系统100和动力系统协同控制，进而降低燃料电池的产热量，增加散热功率。其中，动力系统是燃料电池汽车的驱动系统。
- [0041] 首先在燃料电池汽车启动后，检测当前环境温度 $T$ ，以判断一体化热管理系统100

处于哪种控制模式。当所述当前环境温度 $T$ 不小于所述第一环境温度阈值 $T_1$ 时,处于常温环境运行,此时采用第一控制模式。当所述当前环境温度 $T$ 小于所述第一环境温度阈值 $T_1$ 时,则说明此时外界当前环境温度较低,一体化热管理系统100采用第二控制模式。不同控制模式下采用不同控制策略和优化目标。其中,第一控制模式下控制策略的优化目标为保证温度控制的稳定性和精确性。第二控制模式控制策略的优化目标为整车能耗,即在保证燃料电池系统和车厢内温度的同时降低整车的能耗。

[0042] 在第一控制模式下,车厢内和动力电池系统不需要从燃料电池系统获得热量时,热交换子系统40关闭,即第六阀门420关闭,冷却液全部从第二阀门150所在旁路经过。此时,燃料电池热管理子系统10独立工作,简化后的结构如图2所示。

[0043] 在一个实施例中,所述第一控制模式还包括:

[0044] 检测当前燃料电池实际温度 $T_{fc}$ ,当所述燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 小于燃料电池目标温度 $T_2$ 时,控制所述小循环系统工作;

[0045] 当所述燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 大于所述燃料电池目标温度 $T_2$ 时,控制所述大循环系统工作,或者控制减小所述燃料电池系统110的燃料电池工作电流且增大所述燃料电池系统110的燃料电池工作电压。

[0046] 燃料电池目标温度 $T_2$ 一般为燃料电池的目标工作温度 $65^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ 。当燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 小于燃料电池目标温度 $T_2$ 时,燃料电池需要被加热到目标工作温度。第一阀门130为三通阀或节温器,控制冷却液始终从小循环系统流过。利用燃料电池运行时产生的热量,使电堆快速升温。

[0047] 当燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 达到目标工作温度时,大循环系统开启,第一散热器160可带走多余热量。当燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 较高时,车载空调系统启动制冷。其中,车载空调系统为燃料电池汽车上安装的空调系统。

[0048] 当燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 大于燃料电池目标温度 $T_2$ 时,且处于高温环境下,控制减小燃料电池系统110的燃料电池工作电流且增大燃料电池系统110的燃料电池工作电压。此时高温环境下,动力系统与一体化热管理系统100协同控制,减小燃料电池的工作电流,增大工作电压,提高燃料电池的效率,从而可以降低整车能耗,提高经济性。

[0049] 其中,燃料电池的产热量功率可由公式(1)计算:

$$P_{\text{heat,fc}} = (N_{\text{cell}} \cdot E_{\text{ernst}} - V_{\text{stack}}) \cdot I_{\text{stack}} \quad (1)$$

[0051] 式中, $P_{\text{heat,fc}}$ 为燃料电池电堆的产热功率, $N_{\text{cell}}$ 为电堆的单片数量, $E_{\text{ernst}}$ 为能斯特电压, $V_{\text{stack}}$ 和 $I_{\text{stack}}$ 分别为电堆的电压和电流。

[0052] 由公式(1)可知,减小工作电流,增大工作电压,可减少燃料电池的产热,提高燃料电池的效率,即反应物中的化学能更多地转化为电能,而非热能。减小工作电流,增大工作电压的同时,燃料电池的输出功率会下降,因此整车行驶过程中的需求功率更多地由动力电池系统提供。燃料电池系统的产热减少可降低燃料电池热管理子系统10形成的燃料电池冷却系统的散热和车载空调系统的能耗,从而降低整车的能耗,提高车辆的续航里程。

[0053] 在一个实施例中,根据所述水泵转速 $n_{\text{pump}}$ 和/或所述开度 $\alpha$ 和/或所述风扇开关 $U_{\text{fan}}$ 进行前馈控制,控制所述燃料电池系统110的燃料电池温度达到燃料电池目标温度 $T_2$ ,包括:

[0054] 根据所述水泵转速 $n_{\text{pump}}$ ,通过水泵模型获得冷却液质量流量 $W_w$ ;

[0055] 根据所述风扇开关 $u_{fan}$ 与所述冷却液质量流量 $W_w$ ,通过散热器风扇模型获得所述第一散热器160的出口冷却液温度为 $T_{w,rad,out}$ ;

[0056] 根据所述开度 $\alpha$ 与所述出口冷却液温度为 $T_{w,rad,out}$ ,通过冷却液混合模型获得混合点冷却液温度 $T_{w,m}$ ;

[0057] 根据所述水泵转速 $n_{pump}$ 和/或所述开度 $\alpha$ 和/或所述风扇开关 $u_{fan}$ ,通过所述水泵模型、所述散热器风扇模型以及所述冷却液混合模型,控制所述混合点冷却液温度 $T_{w,m}$ 达到所述燃料电池目标温度 $T_2$ 。

[0058] 本实施例中,当燃料电池汽车稳定运行时,第一阀门130(三通阀或节温器)可控制流经大循环系统、小循环系统的冷却液比例。通过控制第一水泵120转速、第一阀门130(三通阀或节温器)开度、第一散热器160风扇开关等控制变量调控燃料电池系统的温度。

[0059] 根据水泵模型、散热器风扇模型、冷却液混合模型进行前馈控制,使燃料电池系统温度快速达到燃料电池目标温度 $T_2$ 。

[0060] 具体地,水泵模型为公式(2)~(5)。

$$[0061] \quad Q_V = D \cdot n_{pump} \quad (2)$$

$$[0062] \quad h_{in} = h(p_1, T_1) \cdot \rho Q_V \quad (3)$$

$$[0063] \quad h_{out} = h(p_2, T_2) \cdot \rho Q_V + T_{rq} \cdot n_{pump} \quad (4)$$

$$[0064] \quad T_{rq} = D \cdot (p_2 - p_1) \quad (5)$$

[0065] 水泵模型中,输入变量为水泵(即第一水泵120)的转速 $n_{pump}$ ,设定为固定排量 $D$ ,水泵体积流量为 $Q_V$ 公式(2)所示。已知水泵进出口冷却液的压力、温度情况下,进口的焓流率 $h_{in}$ 和出口的焓流率 $h_{out}$ 如公式(3)和公式(4)所示。 $\rho$ 为冷却液密度, $p_1$ 为水泵入口冷却液的压力, $T_1$ 水泵入口冷却液的温度, $h(p_1, T_1)$ 为入口冷却液单位质量的焓值, $p_2$ 为水泵出口冷却液的压力, $T_2$ 为水泵出口冷却液的温度, $h(p_2, T_2)$ 为出口冷却液单位质量的焓值, $T_{rq}$ 为水泵电机的转矩。

[0066] 因此,根据水泵转速 $n_{pump}$ ,获得水泵体积流量为 $Q_V$ 。根据水泵体积流量为 $Q_V$ 乘以冷却液密度 $\rho$ ,获得冷却液质量流量 $W_w$ 。

[0067] 散热器风扇模型为公式(6)~(7)。

[0068] 第一散热器160具有一定的体积,冷却液流经散热器需要相对较长的时间。时间延迟为常数,与冷却液流量和散热器容积有关,也即冷却液流经散热器所需的时间。由于散热器的总体比热容相对较大,所以冷却液流经散热器需要受热容效应的影响,即会有温度滤波效果。如公式(6)所示。

$$[0069] \quad \dot{T}_{w,rad,out} = W_w \cdot [T_{w,rad,in}(t - h_{rad}) - \Delta T - T_{w,rad,out}] / m_{rad} \quad (6)$$

$$[0070] \quad \Delta T = \int_{t-h_{rad}}^t [u_{fan} \cdot k_{rad} \cdot (T_{w,rad,in} - T_{atm}) / (W_w \cdot C_w)] d\tau \quad (7)$$

[0071] 其中,散热器(第一散热器160)入口的冷却液温度为 $T_{w,rad,in}$ ,由散热风扇引起的温度降低量为 $\Delta T$ ,散热器出口冷却液温度为 $T_{w,rad,out}$ , $m_{rad}$ 代表散热器内冷却液的质量, $k_{rad}$ 为散热器的散热系数, $W_w$ 为冷却液的质量流量, $C_w$ 为冷却液的比热容, $T_{atm}$ 为环境温度, $u_{fan}$ 代表了风扇状态,1代表风扇打开,0代表风扇关闭。从 $t-h_{rad}$ 到 $t$ 代表冷却液通过散热器强制冷却的总时间。

[0072] 因此,根据所述风扇开关 $u_{fan}$ 与所述冷却液质量流量 $W_w$ ,通过散热器风扇模型获得

所述第一散热器160的出口冷却液温度为 $T_{w,rad,out}$ 。

[0073] 冷却液混合模型为公式(8)~(9)。

[0074] 大小循环中冷却液的流量由三通阀或节温器的开度 $\alpha$ 决定。小循环系统中冷却液流量为 $\alpha W_w$ ，大循环系统中的冷却液流量为 $(1-\alpha) W_w$ 。

[0075] 在流进电堆前，大小循环的冷却液会进行混合。大循环系统冷却液温度等于来自散热器的冷却液温度。小循环系统的冷却液温度则需要重新计算。因为管道比较长，而且流经途中有加热器、水泵等热容存在，所以在混合点，小循环的冷却液温度变化可以由以下公式计算。

$$[0076] \quad \dot{T}_{w,s} = C_w \cdot \alpha W_w \cdot (T_{w,out} - T_{w,s}) / C_1 + P_a / C_1 \quad (8)$$

$$[0077] \quad T_{w,m} = [\alpha W_w \cdot T_{w,s} + (1-\alpha) W_w \cdot T_{w,rad,out}] / W_w \quad (9)$$

[0078] 其中， $P_a$ 第一加热器140的加热功率， $C_1$ 代表冷却液从电堆出口到混合点流经的所有组件的总热容， $T_{w,out}$ 为电堆出口的冷却液温度， $T_{w,s}$ 为小循环系统冷却液温度， $T_{w,m}$ 为混合点冷却液温度。

[0079] 在一个实施例中， $T_{w,m}$ 为混合点冷却液温度，也可以理解为进入燃料电池的冷却液温度。在所述冷却液入口111和所述冷却液出口112的冷却液温度、压力已知情况下即可获知进出燃料电池的冷却液的焓值。其中，冷却液体积流量由公式(2)得到。燃料电池电堆热模型为：

$$[0080] \quad \frac{dp}{dt} = \frac{\beta_T \cdot \sum dm_i}{\rho V} + \beta_T \alpha \frac{dT}{dt} \quad (10)$$

$$[0081] \quad \frac{dT}{dt} = \frac{P_{heat,fc} + \sum dm_i h_i - h \sum dm_i}{\rho c_p V} + \frac{\alpha T}{\rho c_p} \frac{dp}{dt} \quad (11)$$

$$[0082] \quad \text{其中，等温体积弹性模量为 } \beta_T = \rho \cdot \left( \frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_T^{-1}。$$

$$[0083] \quad \text{等压热膨胀系数为 } \alpha = -\frac{1}{\rho} \cdot \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p。$$

[0084] 其中，等温体积弹性模量和等压热膨胀系数均为冷却液物理特性， $\rho$ 、 $p$ 、 $T$ 、 $h$ 分别为燃料电池电堆冷却液容腔内的冷却液密度、压力、温度和焓， $V$ 为容腔体积， $c_p$ 为冷却液热容。 $P_{heat,fc}$ 为燃料电池产热量，由公式(1)计算。 $\sum dm_i$ 为进出口质量流量之和， $\sum dm_i h_i$ 为进出口焓之和。

[0085] 根据公式(10)和公式(11)求解，即可得到燃料电池电堆冷却液容腔内的温度，即所述燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 。

[0086] 在一个实施例中，在反馈控制过程中，燃料电池电堆内部的实际温度也可以根据在所述冷却液入口111和所述冷却液出口112位置处设置温度传感器，进而获取所述冷却液入口111和所述冷却液出口112的冷却液温度。根据冷却液进出口温度的平均值作为燃料电池电堆内部的温度，即所述燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 。

[0087] 在一个实施例中，所述第一控制模式还包括：

[0088] 根据所述燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 与所述燃料电池目标温度 $T_2$ 的偏差量进行反馈控

制,获得冷却液温度补偿量;

[0089] 根据所述冷却液温度补偿量,对所述混合点冷却液温度 $T_{w,m}$ 进行补偿,达到所述燃料电池目标温度 $T_2$ 。

[0090] 本实施例中,根据燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 与燃料电池目标温度 $T_2$ 之间的差值进行反馈控制,精确调控系统温度。反馈控制的控制律可为PID控制算法,也可以基于现代控制算法设计反馈控制律,例如采用通过PID控制算法或鲁棒预测控制算法或 $H_\infty$ 算法等。

[0091] 其中,进行反馈控制时,根据燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 与燃料电池目标温度 $T_2$ 之间的差值,计算一个控制量的补偿值。

[0092] 例如:以第一水泵120的转速 $n$ 为控制量,反馈控制率为 $\Delta n_{\text{pump}} = f(T_{fc} - T_2)$ 。根据燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 与燃料电池目标温度 $T_2$ 之间的差值计算水泵转速的补偿量 $\Delta n_{\text{pump}}$ 。则水泵的转速就应当调整为 $n'_{\text{pump}} = n_{\text{pump}} + \Delta n_{\text{pump}}$ 。此时,可以理解为:当燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 大于燃料电池目标温度 $T_2$ 时,需要增大水泵转速;当燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 小于燃料电池目标温度 $T_2$ 时,需要减小水泵转速。

[0093] 通过第一控制模式,在常温环境下,动力电池和车厢内无保温和供暖需求,燃料电池系统和动力电池系统均按照常规方式进行散热,供暖回路关闭,采用前馈控制和反馈控制的控制方式,保证了温度控制的稳定性和精确性。通过第一控制模式,若环境温度较高,则减小燃料电池的电流,提高工作电压,以提高燃料电池的效率,减少燃料电池的产热量。

[0094] 在一个实施例中,根据水泵转速 $n_{\text{pump}}$ 和/或开度 $\alpha$ 和/或风扇开关 $U_{\text{fan}}$ ,并结合提前标定好的部件MAP图替代模型进行控制,使得混合点冷却液温度 $T_{w,m}$ 达到燃料电池目标温度 $T_2$ 。

[0095] 在一个实施例中,所述第二控制模式还包括:

[0096] 当所述燃料电池系统110产热小于向外界环境的散热时,控制所述小循环系统工作,控制所述第一加热器140、所述第二加热器250以及所述第三加热器330进行加热;

[0097] 当所述燃料电池系统110产热大于向外界环境的散热时,且当所述小循环系统中冷却液温度达到冷却液目标温度时,控制所述大循环系统工作;

[0098] 当所述大循环系统中冷却液温度达到冷却液目标温度时,将所述第六阀门420开启。

[0099] 本实施例中,当所述当前环境温度 $T$ 小于所述第一环境温度阈值 $T_1$ 时,此时,处于低温环境模式下。燃料电池汽车启动过程可分为多个阶段。当环境温度极低时,燃料电池系统110产热小于向外界环境的散热时,燃料电池无法依靠自身产热启动,此时冷却液全部流经小循环系统,并依靠第一加热器140进行加热。同时动力电池热管理子系统20也通过小循环系统,利用第二加热器250进行快速升温 and 保温,而车厢内使用第三加热器330进行供暖。

[0100] 当燃料电池温度达到可依靠自产热启动时,燃料电池系统110产热大于向外界环境的散热时,电堆内部开始积累热量。当小循环系统中冷却液的温度达到冷却液目标温度后,大循环系统开启,大循环系统中的冷却液温度逐渐升高。

[0101] 当大循环系统中冷却液温度达到冷却液目标温度时,开启换热器前的第六阀门420开启。冷却液流经换热器410与车舱暖风加热子系统30进行热交换。车厢内温度逐渐升高。流经除霜器320、散热器模块350后的冷却液再对动力电池系统进行保温。

[0102] 在一个实施例中,当所述当前环境温度 $T$ 小于所述第一环境温度阈值 $T_1$ 时,控制所

述燃料电池汽车进入第二控制模式。所述第二控制模式包括：

[0103] 根据热平衡模型，获得车厢温度不变时，车厢内所需供暖量 $Q_{T,tgt}$ ，所述热平衡模型为

$$[0104] \quad c_p \rho_g V_{cabin} \frac{dT_{cabin}}{dt} = Q_T + Q_B + Q_W + Q_E + Q_V + Q_p \quad (12)$$

[0105] 其中， $c_p$ 为车厢内空气的比热容， $\rho_g$ 为车厢内空气的密度， $V_{cabin}$ 为车厢体积， $T_{cabin}$ 为车厢温度， $Q_T$ 为所述换热器410向车厢内提供的热量， $Q_B$ 为通过车体围护结构传入车厢的热量， $Q_W$ 为通过各玻璃表面进入车厢的热量， $Q_E$ 为动力舱传入车厢的热量， $Q_V$ 为由于通风和密封性差而从外界泄露进车厢的热量， $Q_p$ 为乘员散发的热量；

[0106] 当所述车厢内所需供暖量 $Q_{T,tgt}$ 由所述换热器410提供，获取所述大循环系统中冷却液流量 $Q_{h,fc}$ ，其中

$$[0107] \quad Q_{T,tgt} = \rho C_w Q_{h,fc} \cdot (T_{w,out} - T_{h,fc,out}) \quad (13)$$

[0108]  $\rho$ 为冷却液密度， $C_w$ 为冷却液的比热容， $T_{w,out}$ 为所述冷却液出口112的冷却液温度， $T_{h,fc,out}$ 为所述换热器410的所述第二出口413的冷却液温度；

[0109] 根据所述大循环系统中冷却液流量 $Q_{h,fc}$ ，获取流经所述换热器410的流量 $Q_1$ ，其中

$$[0110] \quad Q_1 = \frac{Q_{h,fc}}{1 + f(\alpha_1, \alpha_2)} \quad (14)$$

[0111]  $\alpha_1$ 和 $\alpha_2$ 分别为所述第六阀门420、所述第二阀门150的开度， $f(\alpha_1, \alpha_2)$ 为 $\alpha_1$ 和 $\alpha_2$ 的函数，与阀门和管路尺寸相关。

[0112] 本实施例中，低温环境模式稳定运行时，由燃料电池热管理子系统10出口的冷却液与供暖系统进行热交换。利用燃料电池系统的余热进行车厢和动力电池系统的保温，以降低整车的能耗。

[0113] 由于需要同时控制燃料电池工作温度和车厢内温度，同时两个系统通过换热器410耦合在一起。首先，通过热平衡模型对换热量进行估计并控制流经换热器410的冷却液流量。再分别利用反馈控制对燃料电池和车厢内温度进行控制，以保证控制的稳定性和精确性。

[0114] 换热器换热量和流量控制中，燃料电池产热由公式(1)计算，即 $P_{heat,fc}$ 。其中，热平衡模型中车厢内与外界换热包括导热、对流和辐射三种方式，车厢内热量来源为一体化热管理系统100的供暖。

[0115] 根据公式(10)的热平衡模型计算出在稳态，即车厢温度不变情况下所需的供暖量 $Q_{T,tgt}$ 。稳态情况下，如果该热量全部由换热器提供，那么可计算出燃料电池冷却系统中大循环系统的冷却液流量 $Q_{h,fc}$ 。

[0116] 由于燃料电池的温度主要通过换热器410和节温器130控制，大小循环系统的流量由节温器130控制，流经换热器410的流量需要通过主路和旁路两个阀门控制。即旁路阀门为第二阀门150，主路阀门为第六阀门420。因为换热器410的流动阻力远大于管道的流动阻力，所以在进入供暖阶段后第六阀门420直接打开，通过调节第二阀门150开度即可控制流量。本实施例中，根据第六阀门420开度与第二阀门150开度控制冷却液流量时，通过滑模控制算法进行控制。两个支路的总流量即为大循环系统中冷却液流量 $Q_{h,fc}$ 。则，流经换热器410的流量 $Q_1$ 为公式(12)。

[0117] 燃料电池温度控制中,燃料电池热管理子系统10通过第一水泵120控制总的冷却液流量。通过第一阀门130(三通阀或节温器)开度控制流经大循环系统和小循环系统的比例,来调节燃料电池出堆温度在设定值。其中,第一阀门130(三通阀或节温器)的调节采用PID控制器进行控制。

[0118] 通过车舱暖风加热子系统30中的第三加热器330对车厢内温度进行动态反馈调节,而换热器410流量和换热量控制在相对稳定的值。在低速、停车工况时,燃料电池功率较小,余热中可利用的能量较少,此时增大燃料电池系统的功率提供电能,并通过车载暖风系统进行供暖。

[0119] 在一个实施例中,所述第二控制模式还包括:

[0120] 根据所述大循环系统中冷却液流量 $Q_{h,fc}$ ,获得所述第一水泵120的转速。

[0121] 在一个实施例中,所述第二控制模式还包括:

[0122] 根据所述车厢内所需供暖量 $Q_{T,tgt}$ ,获得所述第三加热器330的前馈功率;

[0123] 获取燃料电池实际温度与燃料电池目标温度,并根据所述燃料电池实际温度与所述燃料电池目标温度的偏差量进行反馈控制,获得反馈功率补偿量;

[0124] 根据所述反馈功率补偿量对所述第三加热器330的前馈功率进行补偿,获得所述第三加热器330的功率。

[0125] 本实施例中,根据车厢内所需供暖量 $Q_{T,tgt}$ 减去换热器410向车厢内提供的热量 $Q_T$ ,即可获知第三加热器330提供的热量,从而获知第三加热器330的前馈功率。

[0126] 同时,本实施例中反馈控制过程和上述实施例中根据燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 与所燃料电池目标温度 $T_2$ 的偏差量进行反馈控制的原理相同。根据燃料电池实际温度与燃料电池目标温度的偏差量进行反馈控制,获得反馈功率补偿量。从而,根据反馈功率补偿量和第三加热器330的前馈功率,可以获得前馈+反馈控制后的第三加热器330功率。此时,根据前馈和反馈的控制方法,可以实现在保证燃料电池系统和车厢内温度的同时,降低整车的能耗,提高车辆的续驶里程。

[0127] 在一个实施例中,所述第二控制模式还包括:

[0128] 根据所述大循环系统中冷却液流量 $Q_{h,fc}$ ,获得所述第一阀门130的前馈开度;

[0129] 获取车厢实际温度与车厢目标温度,并根据所述车厢实际温度与所述车厢目标温度的偏差量进行反馈控制,获得反馈开度补偿量;

[0130] 根据所述反馈开度补偿量对所述第一阀门130的前馈开度进行补偿,获得所述第一阀门130的开度。

[0131] 本实施例中,由于大小循环中冷却液的流量由三通阀或节温器的开度 $\alpha$ 决定。小循环系统中冷却液流量为 $\alpha W_w$ ,大循环系统中的冷却液流量为 $(1-\alpha) W_w$ 。所以,通过大循环系统中冷却液流量 $Q_{h,fc}$ ,可知 $Q_{h,fc}/W_w=1-\alpha$ ,进而可以获得所述第一阀门130(三通阀或节温器)的前馈开度。

[0132] 同时,本实施例中反馈控制过程和上述实施例中根据燃料电池实际温度 $T_{fc}$ 与所燃料电池目标温度 $T_2$ 的偏差量进行反馈控制的原理相同。根据车厢实际温度与车厢目标温度计算获知差值,即偏差量,进行反馈控制获得反馈开度补偿量。从而,根据反馈开度补偿量和第一阀门130的前馈开度,可以获得前馈+反馈控制后的第一阀门130的开度。此时,根据前馈和反馈的控制方法,可以实现在保证燃料电池系统和车厢内温度的同时,降低整车的

能耗,提高车辆的续驶里程。

[0133] 因此,当处于低温环境时,利用燃料电池系统的余热对车厢内进行供暖和对动力电池系统进行保温,可以使得确保温度控制的同时降低整车的能耗。从而,使得燃料电池系统温度控制稳定且精确,降低整车能耗,提高了经济实用性。

[0134] 在一个实施例中,在第二控制模式中结合提前标定好的部件MAP图替代模型进行控制,实现第二控制模式中的前馈控制。

[0135] 在一个实施例中,通过PID控制算法、鲁棒预测控制算法或 $H_{\infty}$ 控制算法进行反馈控制。本实施例中,在第一控制模式和第二控制模式中涉及到的反馈控制律可以采用PID控制算法,也可以采用鲁棒预测控制算法或 $H_{\infty}$ 控制算法等。

[0136] 因此,通过上述实施例中所述的燃料电池汽车多环境综合热管理方法,可实现对不同环境温度采用不同的控制模式。在常温环境模式下,即第一控制模式下,通过前馈控制和反馈控制方法,可以确保温度控制的精确性和稳定性。在第二控制模式下,高温环境模式下,采用动力系统协同控制,降低燃料电池工作电流,提高燃料电池效率,以减少燃料电池系统产热,解决了高温环境下冷却系统散热压力大的问题。在第二控制模式下,低温环境模式充分利用燃料电池系统110余热,在保证燃料电池系统110和车厢内温度的同时,降低了整车能量消耗。从而,在面对一年四季复杂多变的环境下,通过本申请燃料电池汽车多环境综合热管理方法,可以保证燃料电池系统温度控制的精确性和稳定性,并且大大降低整车的能耗,提高整车的经济性,增加续驶里程。

[0137] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

[0138] 以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为对本申请专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本申请的保护范围。因此,本申请专利的保护范围应以所附权利要求为准。



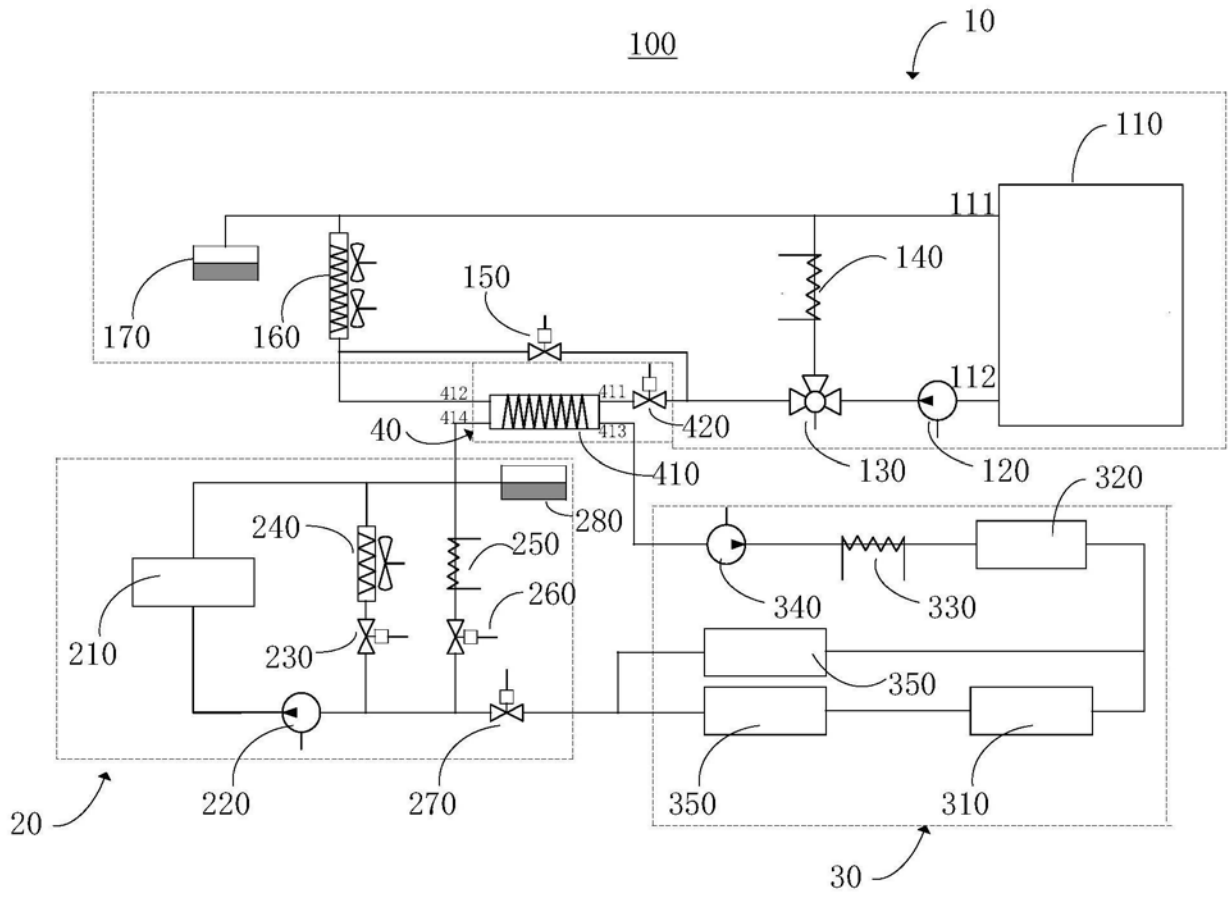


图1

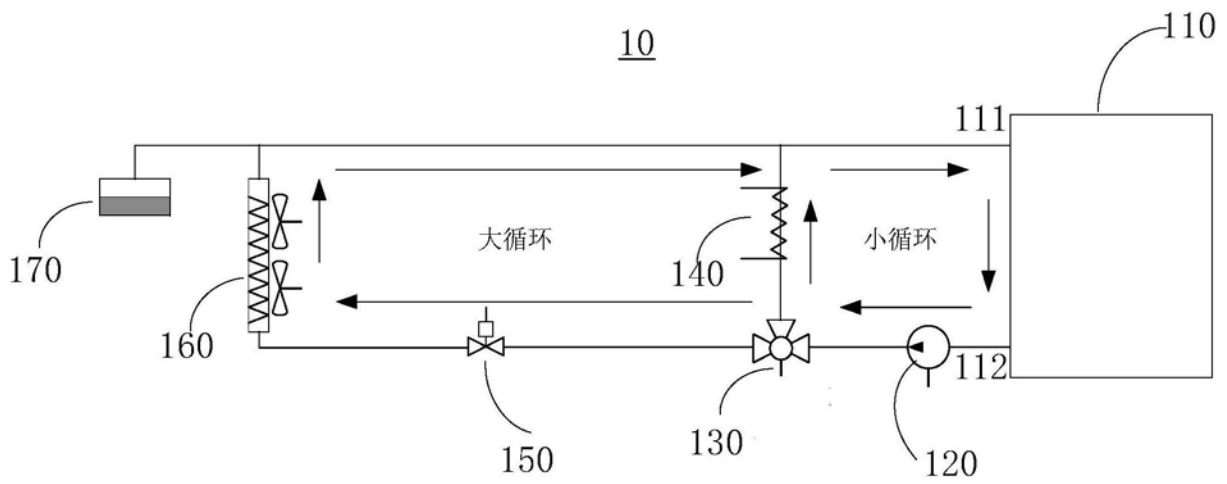


图2