



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111933969 A

(43) 申请公布日 2020. 11. 13

(21) 申请号 202010951316.4

(22) 申请日 2020.09.11

(71) 申请人 福州大学

地址 350108 福建省福州市闽侯县福州大学城乌龙江北大道2号福州大学

(72) 发明人 王亚雄

(74) 专利代理机构 福州元创专利商标代理有限公司 35100

代理人 郭东亮 蔡学俊

(51) Int. Cl.

H01M 8/04029 (2016.01)

H01M 8/0432 (2016.01)

H01M 8/04701 (2016.01)

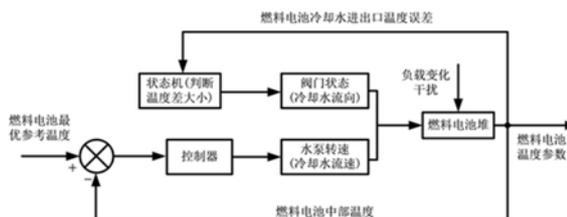
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种均衡散热的燃料电池热管理系统及控制方法

(57) 摘要

本发明提出一种均衡散热的燃料电池热管理系统及控制方法,用于对水冷型燃料电池的散热管理,所述热管理系统包括控制器、温度传感器和内置电磁阀门的冷却液供应通道;所述冷却液供应通道与燃料电池冷却液通道的P1端和P2端相接;所述控制器通过温度传感器采集燃料电池冷却液通道P1端和P2端处的温度,并根据温度来控制冷却液供应通道内的冷却液流向,使P1端和P2端中的温度较高端作为燃料电池冷却液通道的冷却液流入端;本发明可降低水冷型燃料电池堆的内部温度差和提高燃料电池堆温度场分布均匀度。



1. 一种均衡散热的燃料电池热管理系统,用于对水冷型燃料电池的散热管理,其特征在于:所述热管理系统包括控制器、温度传感器和内置电磁阀门的冷却液供应通道;所述冷却液供应通道与燃料电池冷却液通道的P1端和P2端相接;所述控制器通过温度传感器采集燃料电池冷却液通道P1端和P2端处的温度,并根据温度来控制冷却液供应通道内的冷却液流向,使P1端和P2端中的温度较高端作为燃料电池冷却液通道的冷却液流入端。

2. 根据权利要求1所述的一种均衡散热的燃料电池热管理系统,其特征在于:所述冷却液供应通道的输入端设有第一三通管道,输出端设有第二三通管道;所述第一三通管道的输入端经第一水泵与热交换器的热水循环管道的冷水端相连;第二三通管道输出端与热交换器的热水循环管道的热水端相连;当热管理系统工作时,所述第一水泵驱动冷却液供应通道、燃料电池冷却液通道内的冷却液流动;所述燃料电池冷却液通道的P1端与第三三通管道的一端相连,第三三通管道的另两端分别与第一三通管道、第二三通管道相连;

所述燃料电池冷却液通道的P2端与第四三通管道的一端相连;第四三通管道的另两端分别与第一三通管道、第二三通管道相连。

3. 根据权利要求2所述的一种均衡散热的燃料电池热管理系统,其特征在于:所述P1端和P2端为燃料电池冷却液通道的通道口端部;所述控制器通过温度传感器采集燃料电池冷却液通道通道口端部的温度,以及燃料电池冷却液通道中段P0位的温度,根据温度控制第一水泵工况,以通过调节燃料电池冷却液通道内的冷却液流速来控制燃料电池的散热能力。

4. 根据权利要求3所述的一种均衡散热的燃料电池热管理系统,其特征在于:所述第一三通管道未与第一水泵相连的另两端为输出端,两个输出端处分别设有电磁阀门V1、电磁阀门V2;

所述第二三通管道未与热交换器的热水循环管道的热水端相连的另两端为输入端,两个输入端分别与电磁阀门V3、电磁阀门V5相通;

所述第四三通管道未与燃料电池冷却液通道P2端相连的另两端分别与电磁阀门V4、电磁阀门V5相通;所述电磁阀门V4的输入端还与第一三通管道输出端处的电磁阀门V1的输出端相通;

所述第三三通管道未与燃料电池冷却液通道P1端相连的另两端分别与电磁阀门V2、电磁阀门V3相通。

5. 根据权利要求4所述的一种均衡散热的燃料电池热管理系统,其特征在于:所述控制器控制冷却液供应通道内的冷却液流向时,若P1端温度大于P2端,且温度差大于阈值N,则控制器开启电磁阀门V1、V3和V4,关闭电磁阀门V2和V5,使冷却液从P1端流入以优先对P1端及其相邻的燃料电池区域降温;若P2端温度大于P1端,且温度差大于阈值N,则控制器开启电磁阀门V2、V5,关闭电磁阀门V1、V3和V4,使冷却液从P2端流入以优先对P2端及其相邻的燃料电池区域降温;若P1端、P2端的温度差小于阈值N,则控制器不对冷却液流向进行改变。

6. 根据权利要求3所述的一种均衡散热的燃料电池热管理系统,其特征在于:所述冷却液为水;所述热交换器包括热水循环管道和冷水循环管道;所述热水循环管道与冷却液供应通道相通;所述热水循环管道与冷水循环管道紧邻以形成水循环相互隔离的热交换结构;所述冷水循环管道与蓄水桶相通;所述蓄水桶内的水经第二水泵泵入冷水循环管道内,通过热交换效应对热水循环管道进行冷却;所述蓄水桶的冷水输入端处还设有可向蓄水桶

注入冷水的第三水泵；

所述控制模块可控制第二水泵、第三水泵的工况以调节热交换结构的热交换性能，从而调节冷却液供应通道输出端与输入端处的冷却液温差。

7. 一种均衡散热的燃料电池热管理控制方法，其特征在于：所述控制方法采用权利要求5中所述的燃料电池热管理系统，包括以下步骤：

步骤S1：设计可对水冷型燃料电池散热的燃料电池冷却液通道，使之与可变换冷却液流向的冷却液供应通道相通；

步骤S2：根据温度传感器在燃料电池冷却液通道的通道口端P1端和通道口端P2端处所采集的实时温度计算P1和P2温度差，再通过有限状态机策略判断及控制冷却液的流向，实现燃料电池的热场均衡分布；

步骤S3：通过集总参数能量守恒方程描述燃料电池的电池堆的内部温度动力学方程，来分析燃料电池的产热和散热情况，并将燃料电池冷却液通道的中间位置P0处所测得的燃料电池实时温度作为反馈信号，采用反馈控制模式实时调节冷却液流速，实现对燃料电池工作温度控制。

8. 根据权利要求7所述的一种均衡散热的燃料电池热管理控制方法，其特征在于：所述步骤S2中包括以下步骤：

步骤S21、所述控制器的数据采集卡经温度传感器采集P0、P1和P2处的温度实时数据，控制器通过有限状态机策略计算冷却液的合理流向；

步骤S22、所述控制器经数据卡向冷却液供应通道的电子开关发送控制指令，控制冷却液供应通道的电磁阀门的启闭状态，使冷却液供应通道内的冷却液按控制器得出的冷却液合理流向流动。

9. 根据权利要求7所述的一种均衡散热的燃料电池热管理控制方法，其特征在于：所述步骤S3中，以集总参数能量守恒方程描述的燃料电池电池堆的内部温度动力学方程为

$$m_{fc} C_{fc} \frac{dT_{fc}}{dt} = \dot{H}_{reac} - P_{elec} - \dot{Q}_{rad,B2amb} - \dot{Q}_{cool} \quad \text{公式 1;}$$

式中， $m_{fc}$ 是燃料电池的质量， $C_{fc}$ 为燃料电池的比热容， $T_{fc}$ 是燃料电池的温度， $t$ 指的是时间， $H_{reac}$ 由燃料电池产生的总能量定义为

$$\begin{aligned} H_{reac} = & m_{H_2, reac} (H_{f, H_2}^0 + C_{p, H_2} (T_{an, in} - T_0)) + m_{O_2, reac} (H_{f, O_2}^0 + C_{p, O_2} (T_{ca, in} - T_0)) \\ & - m_{H_2O, gen} (H_{f, H_2O}^0 + C_{p, H_2O} (T_{st} - T_0)) \end{aligned} \quad \text{公式 2;}$$

式中， $T_0$ 为燃料电池堆的初始温度与环境温度相同， $P_{elec}$ 为燃料电池产生的功率，定义为

$$P_{elec} = V_{st} \times I_{st} \quad \text{公式 3;}$$

式中， $V_{st}$ 是燃料电池输出的电压， $I_{st}$ 是燃料电池输出的电流， $\dot{Q}_{rad, B2amb}$ 是因辐射损失的热量，定义为

$$\dot{Q}_{rad, B2amb} = \sigma \cdot \varepsilon_{rad} \cdot A_{B2amb, rad} (T_{st}^4 - T_{ambinet}^4) \quad \text{公式 4;}$$

式中 $A_{B2amb, rad}$ 是交换区面积， $\varepsilon_{rad}$ 是放射率； $\dot{Q}_{cool}$ 是由冷却系统带走的热量，可定义为

$$\dot{Q}_{cool} = \varepsilon_{coolant} \cdot d_{coolant} \rho_{coolant} A_{inlet} C_{p, water} (T_{fc} - T_{water}) \quad \text{公式 5;}$$

通过以上计算可知,燃料电池冷却液通道的冷却系统的散热与燃料电池冷却液通道的水流量有关,冷却液体换热系数的确定采用了湍流管流的Dittuse Boelter关联法。

10. 根据权利要求7所述的一种均衡散热的燃料电池热管理控制方法,其特征在于:所述步骤S3中所述燃料电池温度控制采用反馈控制模式具体为:设冷却液供应通道、燃料电池冷却液通道的冷却液流动为内循环,热交换器、蓄水桶的水流动为外循环;

通过内循环中的第一水泵控制燃料电池冷却液通道的冷却液流动速率,同时通过外循环的第二水泵控制热交换器中冷水循环管道中的水流流速,从而控制内循环和外循环之间热交换的速率,以调节内循环进口、出口两端处的冷却液的温度差;若外循环一侧的蓄水桶温度不断升高以至内循环和外循环热交换效果不佳,则通过排放蓄水桶中的热水,同时以第三水泵向蓄水桶注入冷水的方式降低外循环一侧的温度来提升热交换的冷却效果,优化对燃料电池散热过程的调节。

## 一种均衡散热的燃料电池热管理系统及控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电池技术领域,尤其是一种均衡散热的燃料电池热管理系统及控制方法。

### 背景技术

[0002] 燃料电池是一种电化学的发电装置,直接将化学能转化为电能而不必经过热机燃烧过程,不受卡诺循环限制,因而能量转化效率高,且无噪音,无污染,正在成为理想的能源利用方式。燃料电池发电时产生反应热约占总能量的30%~60%,燃料电池系统的性能与电堆温度有密切的关系,电堆温度的提高将增加电堆的反应活性,从而提高燃料电池的发电效率。部分热能用于维持燃料电池处于活跃的反应温度中和对外界环境接触自然散失外,大部分热量需借助温度管理系统进行排热降温,如果反应产热与散失热量不平衡,会导致燃料电池过热致使燃料电池膜和催化层产生不可逆的损伤而性能退化。因此,要保证燃料电池具有良好的动力输出性能、可靠的安全性及较长的使用寿命,必须建立有效热管理策略,提高燃料电池动力系统运行温度对工况和环境的适应性。

### 发明内容

[0003] 本发明提出一种均衡散热的燃料电池热管理系统及控制方法,可降低水冷型燃料电池堆的内部温度差和提高燃料电池堆温度场分布均匀度。

[0004] 本发明采用以下技术方案。

[0005] 一种均衡散热的燃料电池热管理系统,用于对水冷型燃料电池的散热管理,所述热管理系统包括控制器、温度传感器和内置电磁阀门的冷却液供应通道;所述冷却液供应通道与燃料电池冷却液通道的P1端和P2端相接;所述控制器通过温度传感器采集燃料电池冷却液通道P1端和P2端处的温度,并根据温度来控制冷却液供应通道内的冷却液流向,使P1端和P2端中的温度较高端作为燃料电池冷却液通道的冷却液流入端。

[0006] 所述冷却液供应通道的输入端设有第一三通管道,输出端设有第二三通管道;所述第一三通管道的输入端经第一水泵与热交换器的热水循环管道的冷水端相连;第二三通管道输出端与热交换器的热水循环管道的热水端相连;当热管理系统工作时,所述第一水泵驱动冷却液供应通道、燃料电池冷却液通道内的冷却液流动;

[0007] 所述燃料电池冷却液通道的P1端与第三三通管道的一端相连,第三三通管道的另两端分别与第一三通管道、第二三通管道相连;

[0008] 所述燃料电池冷却液通道的P2端与第四三通管道的一端相连;第四三通管道的另两端分别与第一三通管道、第二三通管道相连。

[0009] 所述P1端和P2端为燃料电池冷却液通道的通道口端部;所述控制器通过温度传感器采集燃料电池冷却液通道通道口端部的温度,以及燃料电池冷却液通道中段P0位的温度,根据温度控制第一水泵工况,以通过调节燃料电池冷却液通道内的冷却液流速来控制燃料电池的散热能力。

[0010] 所述第一三通管道未与第一水泵相连的另两端为输出端,两个输出端处分别设有电磁阀门V1、电磁阀门V2;

[0011] 所述第二三通管道未与热交换器的热水循环管道的热水端相连的另两端为输入端,两个输入端分别与电磁阀门V3、电磁阀门V5相通;

[0012] 所述第四三通管道未与燃料电池冷却液通道P2端相连的另两端分别与电磁阀门V4、电磁阀门V5相通;所述电磁阀门V4的输入端还与第一三通管道输出端处的电磁阀门V1的输出端相通;

[0013] 所述第三三通管道未与燃料电池冷却液通道P1端相连的另两端分别与电磁阀门V2、电磁阀门V3相通。

[0014] 所述控制器控制冷却液供应通道内的冷却液流向时,若P1端温度大于P2端,且温度差大于阈值N,则控制器开启电磁阀门V1、V3和V4,关闭电磁阀门V2和V5,使冷却液从P1端流入以优先对P1端及其相邻的燃料电池区域降温;若P2端温度大于P1端,且温度差大于阈值N,则控制器开启电磁阀门V2、V5,关闭电磁阀门V1、V3和V4,使冷却液从P2端流入以优先对P2端及其相邻的燃料电池区域降温;若P1端、P2端的温度差小于阈值N,则控制器不对冷却液流向进行改变。

[0015] 所述冷却液为水;所述热交换器包括热水循环管道和冷水循环管道;所述热水循环管道与冷却液供应通道相通;所述热水循环管道与冷水循环管道紧邻以形成水循环相互隔离的热交换结构;所述冷水循环管道与蓄水桶相通;所述蓄水桶内的水经第二水泵泵入冷水循环管道内,通过热交换效应对热水循环管道进行冷却;所述蓄水桶的冷水输入端处还设有可向蓄水桶注入冷水的第三水泵;

[0016] 所述控制模块可控制第二水泵、第三水泵的工况以调节热交换结构的热交换性能,从而调节冷却液供应通道输出端与输入端处的冷却液温差。

[0017] 所述控制方法采用以上所述的燃料电池热管理系统,包括以下步骤;

[0018] 步骤S1:设计可对水冷型燃料电池散热的燃料电池冷却液通道,使之与可变换冷却液流向的冷却液供应通道相通;

[0019] 步骤S2:根据温度传感器在燃料电池冷却液通道的通道口端P1端和通道口端P2端处所采集的实时温度计算P1和P2温度差,再通过有限状态机策略判断及控制冷却液的流向,实现燃料电池的热场均衡分布;

[0020] 步骤S3:通过集总参数能量守恒方程描述燃料电池的电池堆的内部温度动力学方程,来分析燃料电池的产热和散热情况,并将燃料电池冷却液通道的中间位置P0处所测得的燃料电池实时温度作为反馈信号,采用反馈控制模式实时调节冷却液流速,实现对燃料电池工作温度控制。

[0021] 所述步骤S2中包括以下步骤;

[0022] 步骤S21、所述控制器的数据采集卡经温度传感器采集P0、P1和P2处的温度实时数据,控制器通过有限状态机策略计算冷却液的合理流向;

[0023] 步骤S22、所述控制器经数据卡向冷却液供应通道的电子开关发送控制指令,控制冷却液供应通道的电磁阀门的启闭状态,使冷却液供应通道内的冷却液按控制器得出的冷却液合理流向流动。

[0024] 所述步骤S3中,以集总参数能量守恒方程描述的燃料电池电池堆的内部温度动力

学方程为

$$[0025] \quad m_{fc} C_{fc} \frac{dT_{fc}}{dt} = \dot{H}_{react} - P_{elec} - \dot{Q}_{rad,B2amb} - \dot{Q}_{cool} \quad \text{公式 1;}$$

[0026] 式中,  $m_{fc}$  是燃料电池的质量,  $C_{fc}$  为燃料电池的比热容,  $T_{fc}$  是燃料电池的温度,  $t$  指的是时间,  $H_{react}$  由燃料电池产生的总能量定义为

$$[0027] \quad H_{react} = m_{H_2,react}(H_{f,H_2}^0 + C_{p,H_2}(T_{an,in} - T_0)) + m_{O_2,react}(H_{f,O_2}^0 + C_{p,O_2}(T_{ca,in} - T_0)) - m_{H_2O,gen}(H_{f,H_2O}^0 + C_{p,H_2O}(T_{st} - T_0)) \quad \text{公式 2;}$$

[0028] 式中,  $T_0$  为燃料电池堆的初始温度与环境温度相同,  $P_{elec}$  为燃料电池产生的功率, 定义为

$$[0029] \quad P_{elec} = V_{st} \times I_{st} \quad \text{公式 3;}$$

[0030] 式中,  $V_{st}$  是燃料电池输出的电压,  $I_{st}$  是燃料电池输出的电流,  $Q_{rad,B2amb}$  是因辐射损失的热量, 定义为

$$[0031] \quad \dot{Q}_{rad,B2amb} = \sigma \cdot \varepsilon_{rad} \cdot A_{B2amb,rad}(T_{st}^4 - T_{ambinlet}^4) \quad \text{公式 4;}$$

[0032] 式中  $A_{B2amb,rad}$  是交换区面积,  $\varepsilon_{rad}$  是放射率;  $Q_{cool}$  是由冷却系统带走的热量, 可定义为

$$[0033] \quad \dot{Q}_{cool} = \varepsilon_{coolant} \cdot d_{coolant} \rho_{coolant} A_{inlet} C_{p,water}(T_{fc} - T_{water}) \quad \text{公式 5;}$$

[0034] 通过以上计算可知, 燃料电池冷却液通道的冷却系统的散热与燃料电池冷却液通道的水流量有关, 冷却液体换热系数的确定采用了湍流管流的 Dittuse Boelter 关联法。

[0035] 所述步骤 S3 中所述燃料电池温度控制采用反馈控制模式具体为: 设冷却液供应通道、燃料电池冷却液通道的冷却液流动为内循环, 热交换器、蓄水桶的水流动为外循环;

[0036] 通过内循环中的第一水泵控制燃料电池冷却液通道的冷却液流动速率, 同时通过外循环的第二水泵控制热交换器中冷水循环管道中的水流流速, 从而控制内循环和外循环之间热交换的速率, 以调节内循环进口、出口两端处的冷却液的温度差;

[0037] 若外循环一侧的蓄水桶温度不断升高以至内循环和外循环热交换效果不佳, 则通过排放蓄水桶中的热水, 同时以第三水泵向蓄水桶注入冷水的方式降低外循环一侧的温度来提升热交换的冷却效果, 优化对燃料电池散热过程的调节。

[0038] 综上, 本发明首先设计水冷型燃料电池的热管理系统, 包括设计冷却液通道系统与可变换冷却液流向的均衡散热系统; 其次, 根据温度传感器在燃料电池冷却液的进口端 P1 端和出口端 P2 端处所采集的实时温度计算 P1 和 P2 温度差, 再通过有限状态机策略判断冷却液的流向, 实现燃料电池的热场均衡分布; 最后, 通过集总参数能量守恒方程描述燃料电池堆的内部温度动力学方程, 来分析燃料电池的产热和散热情况, 并将冷却液的进口端和出口端的中间位置 P0 处所测得的燃料电池实时温度作为反馈信号, 采用反馈控制模式实时调节冷却液流速, 实现对燃料电池工作温度控制。

[0039] 本发明提出了一种均衡散热方式降低燃料电池内部温度差和提高燃料电池内部温度场分布的均匀度, 并采用反馈控制模式实现了对燃料电池工作温度控制。

[0040] 与现有技术相比, 本发明有以下有益效果:

[0041] 1、本发明所应用的目标为水冷型燃料电池, 燃料电池在运行过程中会产生大量的

热量,而冷却液对燃料电池进行散热时,由于燃料电池电堆有一定的体积,导致电堆在冷却液入口的冷却效果要大于出口的冷却效果,造成了燃料电池内部温度差以及内部温度场分布不均匀,本发明通过加入电磁可控阀门与三通阀实现冷却液逆向流动,使冷却液的入口与出口调换,提高燃料电池在冷却液出口端的冷却能力,有效解决了燃料电池内部冷却能力不一致而增大内部温度差的问题;

[0042] 2、本发明根据温度传感器在燃料电池冷却液的进口端P1端和出口端P2端处所采集的实时温度计算P1和P2温度差,再通过有限状态机策略判断冷却液的流向,实现了冷却液流向随着燃料电池温度场的变化而实时改变,从而达到燃料电池的热场均衡分布,有效地降低燃料电池内部温度差,减小了由内部温度差引起的电池局部老化和输出功率不一致现象;

[0043] 3、本发明通过集总参数能量守恒方程描述燃料电池堆的内部温度动力学方程,来分析燃料电池的产热和散热情况,并将冷却液的进口端和出口端的中间位置P0处所测得的燃料电池实时温度作为反馈信号,采用反馈控制模式实时调节冷却液流速,实现对燃料电池工作温度控制,使冷却系统在均衡散热的基础上,实时调节冷却液流速,实现了燃料电池均衡散热的热管理。

## 附图说明

[0044] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进一步详细的说明:

[0045] 附图1是本发明的工作原理示意图;

[0046] 附图2是本发明的装置结构示意图;

[0047] 附图3为水冷型燃料电池在传统冷却液正流向的水冷系统热管理时单体电池表面的温差结果示意图;

[0048] 附图4为水冷型燃料电池在传统冷却液逆流的水冷系统热管理时单体电池表面的温差结果示意图;

[0049] 附图5为本发明实施例中水冷型燃料电池在可变换冷却液流向的水冷系统热管理时单体电池表面的温差结果示意图;

[0050] 图中:1-电磁阀门V1;2-电磁阀门V2;3-电磁阀门V3;4-电磁阀门V4;5-电磁阀门V5;6-温度传感器;7-燃料电池;8-热交换器;9-蓄水桶;10-第一水泵;11-第一三通管道;12-第二三通管道;13-第三三通管道;14-第四三通管道;15-第二水泵;16-第三水泵;17-冷却液供应通道;18-燃料电池冷却液通道。

## 具体实施方式

[0051] 如图所示,一种均衡散热的燃料电池热管理系统,用于对水冷型燃料电池的散热管理,所述热管理系统包括控制器、温度传感器和内置电磁阀门的冷却液供应通道;所述冷却液供应通道与燃料电池冷却液通道的P1端和P2端相接;所述控制器通过温度传感器采集燃料电池冷却液通道P1端和P2端处的温度,并根据温度来控制冷却液供应通道内的冷却液流向,使P1端和P2端中的温度较高端作为燃料电池冷却液通道的冷却液流入端。

[0052] 所述冷却液供应通道的输入端设有第一三通管道,输出端设有第二三通管道;所述第一三通管道的输入端经第一水泵与热交换器的热水循环管道的冷水端相连;第二三通

管道输出端与热交换器的热水循环管道的热水端相连；当热管理系统工作时，所述第一水泵驱动冷却液供应通道、燃料电池冷却液通道内的冷却液流动；

[0053] 所述燃料电池冷却液通道的P1端与第三三通管道的一端相连，第三三通管道的另两端分别与第一三通管道、第二三通管道相连；

[0054] 所述燃料电池冷却液通道的P2端与第四三通管道的一端相连；第四三通管道的另两端分别与第一三通管道、第二三通管道相连。

[0055] 所述P1端和P2端为燃料电池冷却液通道的通道口端部；所述控制器通过温度传感器采集燃料电池冷却液通道通道口端部的温度，以及燃料电池冷却液通道中段P0位的温度，根据温度控制第一水泵工况，以通过调节燃料电池冷却液通道内的冷却液流速来控制燃料电池的散热能力。

[0056] 所述第一三通管道未与第一水泵相连的另两端为输出端，两个输出端处分别设有电磁阀门V1、电磁阀门V2；

[0057] 所述第二三通管道未与热交换器的热水循环管道的热水端相连的另两端为输入端，两个输入端分别与电磁阀门V3、电磁阀门V5相通；

[0058] 所述第四三通管道未与燃料电池冷却液通道P2端相连的另两端分别与电磁阀门V4、电磁阀门V5相通；所述电磁阀门V4的输入端还与第一三通管道输出端处的电磁阀门V1的输出端相通；

[0059] 所述第三三通管道未与燃料电池冷却液通道P1端相连的另两端分别与电磁阀门V2、电磁阀门V3相通。

[0060] 所述控制器控制冷却液供应通道内的冷却液流向时，若P1端温度大于P2端，且温度差大于阈值N，则控制器开启电磁阀门V1、V3和V4，关闭电磁阀门V2和V5，使冷却液从P1端流入以优先对P1端及其相邻的燃料电池区域降温；若P2端温度大于P1端，且温度差大于阈值N，则控制器开启电磁阀门V2、V5，关闭电磁阀门V1、V3和V4，使冷却液从P2端流入以优先对P2端及其相邻的燃料电池区域降温；若P1端、P2端的温度差小于阈值N，则控制器不对冷却液流向进行改变。

[0061] 所述冷却液为水；所述热交换器包括热水循环管道和冷水循环管道；所述热水循环管道与冷却液供应通道相通；所述热水循环管道与冷水循环管道紧邻以形成水循环相互隔离的热交换结构；所述冷水循环管道与蓄水桶相通；所述蓄水桶内的水经第二水泵泵入冷水循环管道内，通过热交换效应对热水循环管道进行冷却；所述蓄水桶的冷水输入端处还设有可向蓄水桶注入冷水的第三水泵；

[0062] 所述控制模块可控制第二水泵、第三水泵的工况以调节热交换结构的热交换性能，从而调节冷却液供应通道输出端与输入端处的冷却液温差。

[0063] 所述控制方法采用以上所述的燃料电池热管理系统，包括以下步骤；

[0064] 步骤S1：设计可对水冷型燃料电池散热的燃料电池冷却液通道，使之与可变换冷却液流向的冷却液供应通道相通；

[0065] 步骤S2：根据温度传感器在燃料电池冷却液通道的通道口端P1端和通道口端P2端处所采集的实时温度计算P1和P2温度差，再通过有限状态机策略判断及控制冷却液的流向，实现燃料电池的热场均衡分布；

[0066] 步骤S3：通过集总参数能量守恒方程描述燃料电池的电池堆的内部温度动力学方

程,来分析燃料电池的产热和散热情况,并将燃料电池冷却液通道的中间位置P0处所测得的燃料电池实时温度作为反馈信号,采用反馈控制模式实时调节冷却液流速,实现对燃料电池工作温度控制。

[0067] 所述步骤S2中包括以下步骤:

[0068] 步骤S21、所述控制器的数据采集卡经温度传感器采集P0、P1和P2处的温度实时数据,控制器通过有限状态机策略计算冷却液的合理流向;

[0069] 步骤S22、所述控制器经数据卡向冷却液供应通道的电子开关发送控制指令,控制冷却液供应通道的电磁阀门的启闭状态,使冷却液供应通道内的冷却液按控制器得出的冷却液合理流向流动。

[0070] 所述步骤S3中,以集总参数能量守恒方程描述的燃料电池电池堆的内部温度动力学方程为

$$[0071] \quad m_{fc} C_{fc} \frac{dT_{fc}}{dt} = \dot{H}_{\text{reac}} - P_{\text{elec}} - \dot{Q}_{\text{rad},B2\text{amb}} - \dot{Q}_{\text{cool}} \quad \text{公式 1;}$$

[0072] 式中, $m_{fc}$ 是燃料电池的质量, $C_{fc}$ 为燃料电池的比热容, $T_{fc}$ 是燃料电池的温度, $t$ 指的是时间, $H_{\text{reac}}$ 由燃料电池产生的总能量定义为

$$[0073] \quad \begin{aligned} H_{\text{reac}} = & m_{H_2,\text{reac}}(H_{f,H_2}^0 + C_{p,H_2}(T_{\text{an,in}} - T_0)) + m_{O_2,\text{reac}}(H_{f,O_2}^0 + C_{p,O_2}(T_{\text{ca,in}} - T_0)) \\ & - m_{H_2O,\text{gen}}(H_{f,H_2O}^0 + C_{p,H_2O}(T_{st} - T_0)) \end{aligned} \quad \text{公式 2;}$$

[0074] 式中, $T_0$ 为燃料电池堆的初始温度与环境温度相同, $P_{\text{elec}}$ 为燃料电池产生的功率,定义为

$$[0075] \quad P_{\text{elec}} = V_{\text{st}} \times I_{\text{st}} \quad \text{公式 3;}$$

[0076] 式中, $V_{\text{st}}$ 是燃料电池输出的电压, $I_{\text{st}}$ 是燃料电池输出的电流, $\dot{Q}_{\text{rad},B2\text{amb}}$ 是因辐射损失的热量,定义为

$$[0077] \quad \dot{Q}_{\text{rad},B2\text{amb}} = \sigma \cdot \varepsilon_{\text{rad}} \cdot A_{B2\text{amb},\text{rad}}(T_{\text{st}}^4 - T_{\text{ambinert}}^4) \quad \text{公式 4;}$$

[0078] 式中 $A_{B2\text{amb},\text{rad}}$ 是交换区面积, $\varepsilon_{\text{rad}}$ 是放射率; $\dot{Q}_{\text{cool}}$ 是由冷却系统带走的热量,可定义为

$$[0079] \quad \dot{Q}_{\text{cool}} = \varepsilon_{\text{coolant}} \cdot d_{\text{coolant}} \rho_{\text{coolant}} A_{\text{inlet}} C_{p,\text{water}}(T_{fc} - T_{\text{water}}) \quad \text{公式 5;}$$

[0080] 通过以上计算可知,燃料电池冷却液通道的冷却系统的散热与燃料电池冷却液通道的水流量有关,冷却液体换热系数的确定采用了湍流管流的Dittuse Boelter关联法。

[0081] 所述步骤S3中所述燃料电池温度控制采用反馈控制模式具体为:设冷却液供应通道、燃料电池冷却液通道的冷却液流动为内循环,热交换器、蓄水桶的水流动为外循环;

[0082] 通过内循环中的第一水泵控制燃料电池冷却液通道的冷却液流动速率,同时通过外循环的第二水泵控制热交换器中冷水循环管道中的水流流速,从而控制内循环和外循环之间热交换的速率,以调节内循环进口、出口两端处的冷却液的温度差;

[0083] 若外循环一侧的蓄水桶温度不断升高以至内循环和外循环热交换效果不佳,则通过排放蓄水桶中的热水,同时以第三水泵向蓄水桶注入冷水的方式降低外循环一侧的温度来提升热交换的冷却效果,优化对燃料电池散热过程的调节。

[0084] 本例中,P0位置为燃料电池内部冷却液通道进口端和出口端之间的中间位置,控

制部经P0位置的温度传感器检测燃料电池的内部温度。

[0085] 如图3、图4和图5所示,本实施例中分别给出了水冷型燃料电池在传统冷却液正流向、逆流方向和本发明所述均衡散热的热管理方法时单体电池表面的温差结果图。

[0086] 从图5的温差结果图可以看出,采用均衡散热的热管理方法后,单体电池内部最大温差由14.03摄氏度下降至4.21摄氏度,显著地提升了单体电池的热场均衡分布。

[0087] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,凡依本发明申请专利范围所做的均等变化与修饰,皆应属本发明的涵盖范围。

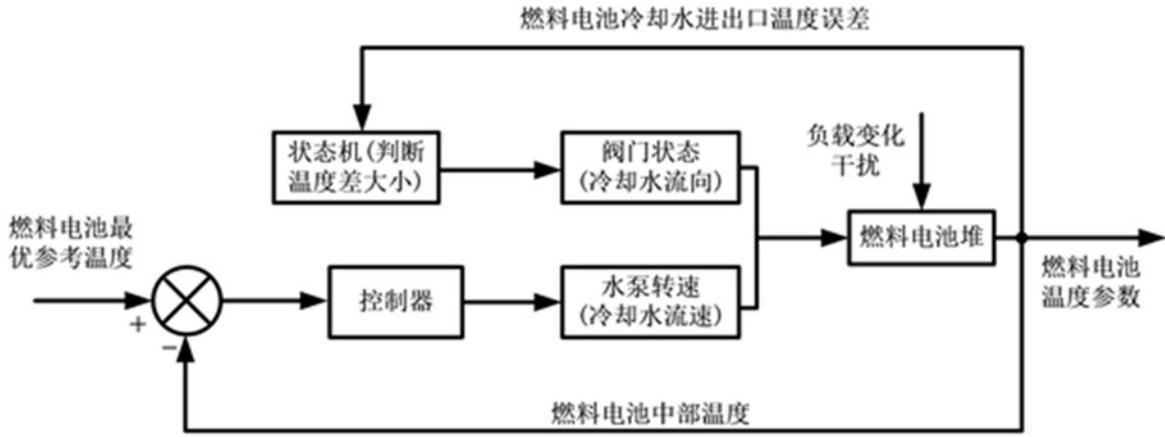


图1

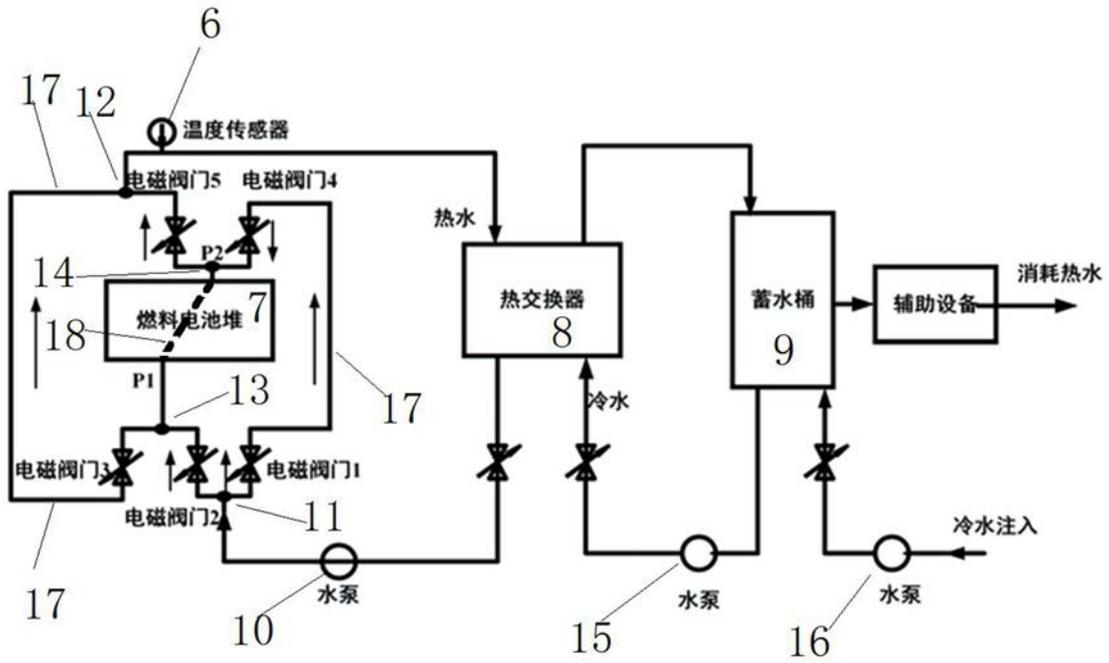


图2

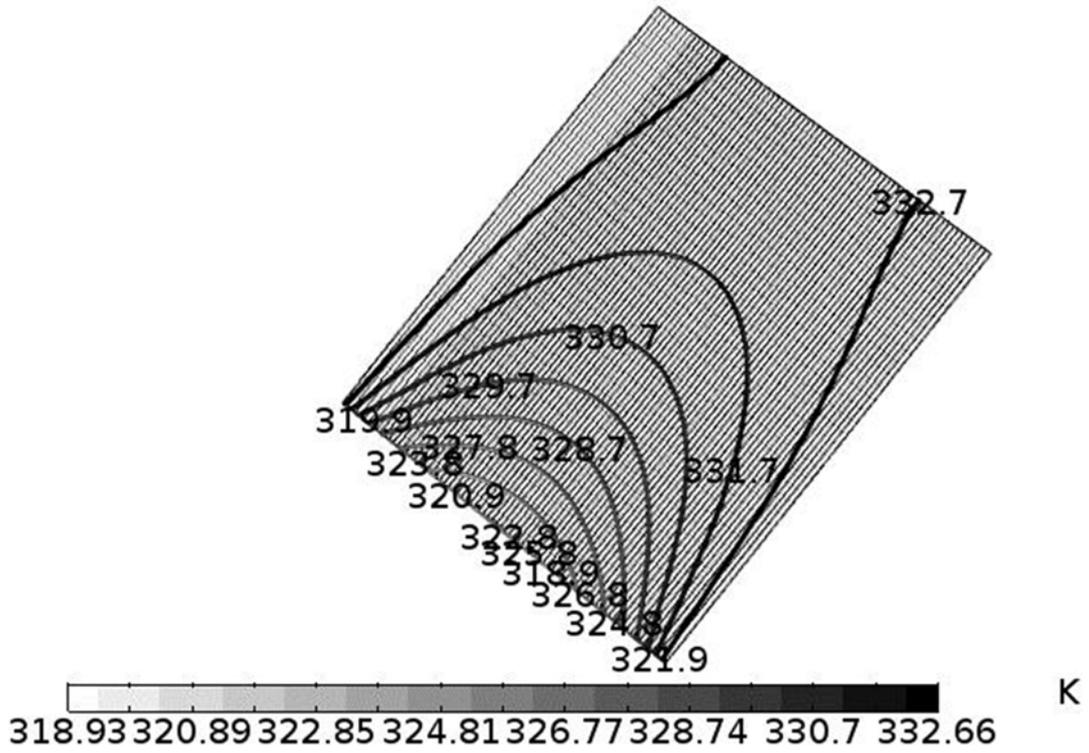


图3

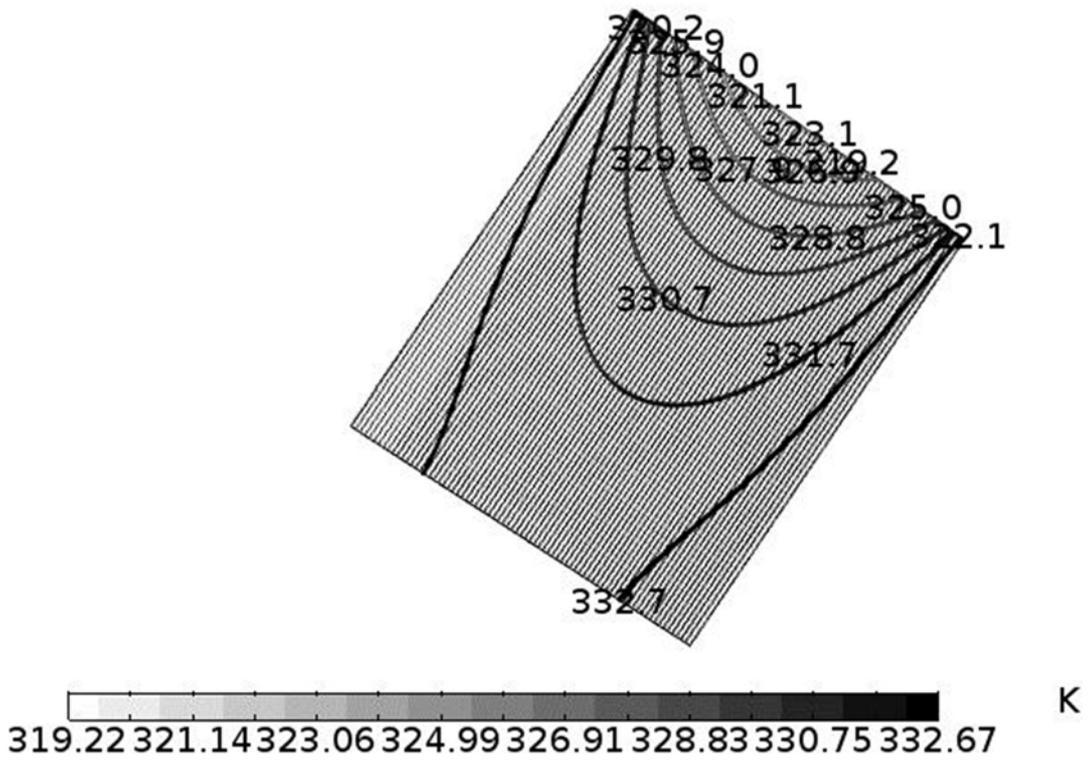


图4

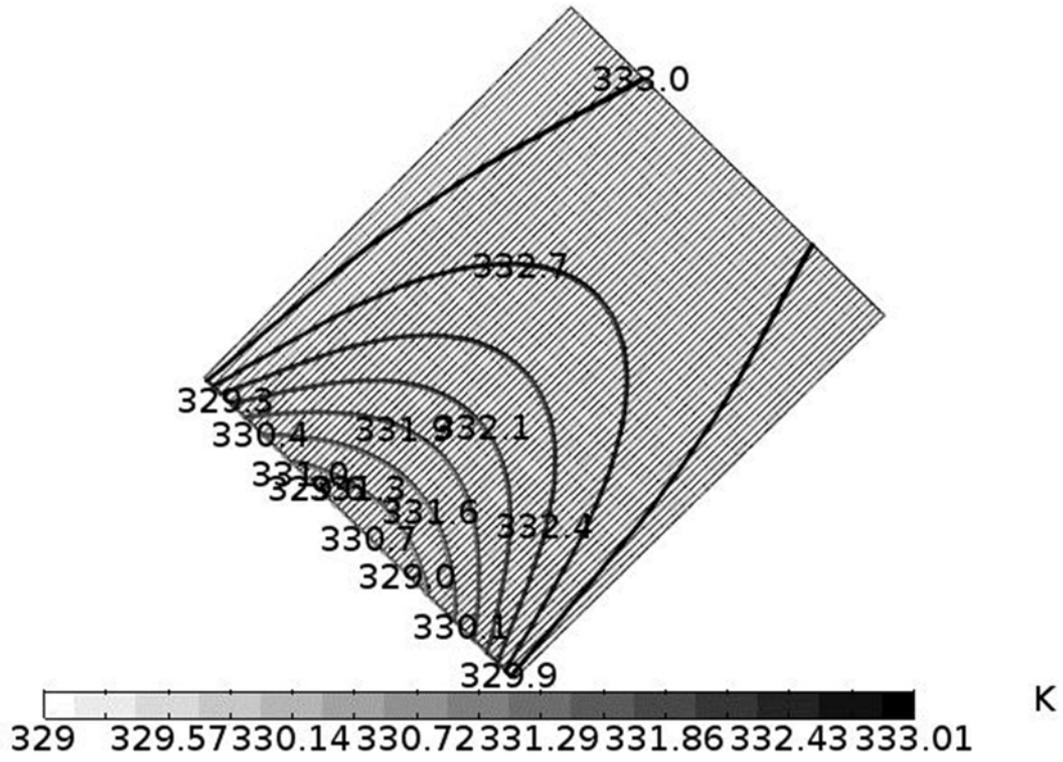


图5