

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局



(10) 国际公布号

WO 2021/184490 A1

(43) 国际公布日

2021 年 9 月 23 日 (23.09.2021)

(51) 国际专利分类号:
B60L 58/33 (2019.01) H01M 8/04223 (2016.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/086970

(22) 国际申请日: 2020 年 4 月 26 日 (26.04.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010199241.9 2020 年 3 月 20 日 (20.03.2020) CN

(71) 申请人: 清华大学(TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。

(72) 发明人: 李建秋(LI, Jianqiu); 中国北京市海淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。 刘慧泽(LIU, Huize); 中国北京市海淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。 徐梁飞(XU, Liangfei); 中国北京市海淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。 胡尊严(HU, Zunyan); 中国北京市海

淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。 欧阳明高(OUYANG, Minggao); 中国北京市海淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。

(74) 代理人: 北京华进京联知识产权代理有限公司(ACIP LAW OFFICES); 中国北京市海淀区知春路 7 号致真大厦 A1403, Beijing 100191 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,

(54) Title: MULTI-ENVIRONMENT COMPREHENSIVE THERMAL MANAGEMENT METHOD FOR FUEL CELL VEHICLE

(54) 发明名称: 燃料电池汽车多环境综合热管理方法

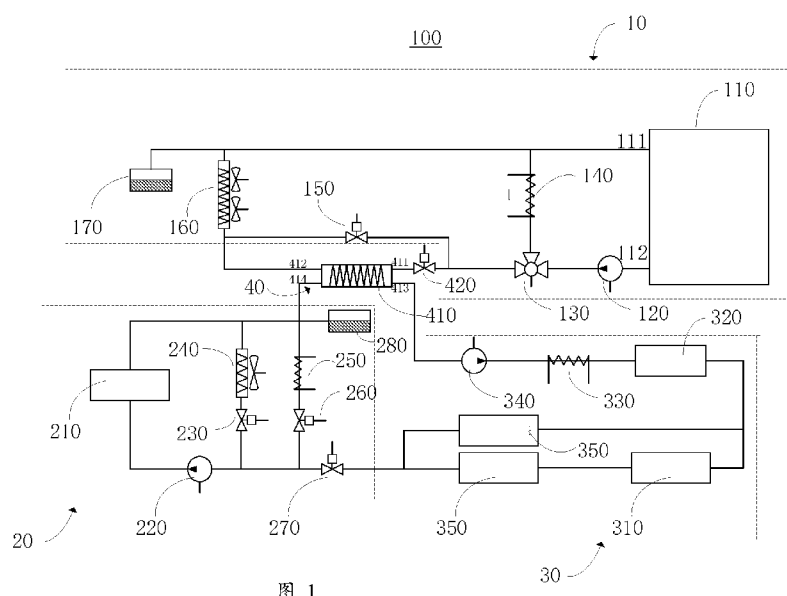


图 1

(57) Abstract: A multi-environment comprehensive thermal management method for a fuel cell vehicle, implementable in a complex and changing environment, ensuring the precision and stability of thermal control of a fuel cell system (110), reducing the energy consumption of the entire vehicle, and increasing the economy of the entire vehicle.

(57) 摘要: 一种燃料电池汽车多环境综合热管理方法, 可实现在复杂多变的环境下, 保证燃料电池系统(110)温度控制的精确性和稳定性, 降低整车的能耗, 提高整车的经济性。

[见续页]

NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

燃料电池汽车多环境综合热管理方法

相关申请

本申请要求 2020 年 3 月 20 日申请的，申请号为 202010199241.9，名称为“燃料电池汽车多环境综合热管理方法”的中国专利申请的优先权，在此将其全文引入作为参考。

技术领域

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

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驶里程。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。

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。

申请内容

有鉴于此，本申请公开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。

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：

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

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

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；

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 。

本申请公开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 α 、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

为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术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申请的实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据公开的附图获得其他的附图。

图 1 为本申请提供的一体化热管理系统的结构示意图。

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。

具体实施方式

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

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。

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。

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 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。

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 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。

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_{pump} 和/或所述第一阀门 130 的开度 α 和/或所述第一散热器 160 的风扇开关 u_{fan} ；

根据所述水泵转速 n_{pump} 和/或所述开度 α 和/或所述风扇开关 u_{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_{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；

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 ；

否则，控制所述燃料电池汽车进入第二控制模式。

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_{pump} 、所述开度 α 、所述风扇开关 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 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_{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。

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。

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。

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。

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。

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。

在一个实施例中，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。

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。

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。

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。

其中，燃料电池的产热量功率可由公式（1）计算：

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

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

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。

在一个实施例中，根据所述水泵转速 n_{pump} 和/或所述开度 α 和/或所述风扇开关 u_{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_{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_{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 $T_{w,\text{rad,out}}$ ；

根据所述开度 α 与所述出口冷却液温度为 $T_{w,\text{rad,out}}$ ，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_{pump} 和/或所述开度 α 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 。

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。

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 。

具体地，水泵模型为公式（2）~（5）。

$$Q_v = D \cdot n_{\text{pump}} \quad (2)$$

$$h_{\text{in}} = h(p_1, T_1) \cdot \rho Q_v \quad (3)$$

$$h_{\text{out}} = h(p_2, T_2) \cdot \rho Q_v + T_{\text{rq}} \cdot n_{\text{pump}} \quad (4)$$

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

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。 ρ 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。

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 ρ ，获得冷却液质量流量 W_w 。

散热器风扇模型为公式 (6) ~ (7)。

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。

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

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

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 ΔT ，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。

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 $T_{w,rad,out}$ 。

冷却液混合模型为公式 (8) ~ (9)。

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

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。

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

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

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。

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:

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

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

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

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

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, ρ 、 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。 $P_{\text{heat,fc}}$ 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, $\sum dm h_i$ 为进出口焓之和。

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} 。

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} 。

在一个实施例中, 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 。

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_∞ 算法等。

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。

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 Δn_{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。

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。

在一个实施例中, 根据水泵转速 n_{pump} 和/或开度 α 和/或风扇开关 u_{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 。

在一个实施例中, 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。

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。

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。

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。

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：

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

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

其中， c_p 为车厢内空气的比热容， ρ_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；

当所述车厢内所需供暖量 $Q_{T,igt}$ 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

$$Q_{T,igt} = \rho c_w Q_{h,fc} \cdot (T_{w,out} - T_{h,fc,out}) \quad (13)$$

ρ 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；

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

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

α_1 和 α_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 α_1 和 α_2 的函数，与阀门和管路尺寸相关。

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。

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。

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 $P_{\text{heat,fc}}$ 。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。

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 $Q_{\text{T,igt}}$ 。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 $Q_{\text{h,fc}}$ 。

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 $Q_{\text{h,fc}}$ 。则，流经换热器 410 的流量 Q_1 为公式 (12)。

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。

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。

在一个实施例中，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 $Q_{\text{h,fc}}$ ，获得所述第一水泵 120 的转速。

在一个实施例中，所述第二控制模式还包括：

根据所述车厢内所需供暖量 $Q_{\text{T,igt}}$ ，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。

本实施例中，根据车厢内所需供暖量 $Q_{T,gt}$ 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。

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。

在一个实施例中，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 $Q_{h,fc}$ ，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。

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 α 决定。小循环系统中冷却液流量为 αW_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。

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。

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。

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。

在一个实施例中，通过 PID 控制算法、鲁棒预测控制算法或 H_{∞} 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_{∞} 控制算法等。

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，增加续航里程。

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。

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，但并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。

最后，还需要说明的是，在本文中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物

品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

本说明书中各个实施例采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

对所公开的实施例的上述说明，使本领域专业技术人员能够实现或使用本申请。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的，本文中所定义的一般原理可以在不脱离本申请的精神或范围的情况下，在其它实施例中实现。因此，本申请将不会被限制于本文所示的这些实施例，而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

权利要求

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_{pump} 和/或所述第一阀门（130）的开度 α 和/或所述第一散热器（160）的风扇开关 u_{fan} ；

根据所述水泵转速 n_{pump} 和/或所述开度 α 和/或所述风扇开关 u_{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_{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；

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_{pump} 和/或所述开度 α 和/或所述风扇开关 u_{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_{pump} ，通过水泵模型获得冷却液质量流量 W_w 。

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，根据所述水泵转速 n_{pump} 和/或所述开度 α 和/或所述风扇开关 u_{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 ，还包括：

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 $T_{w,\text{rad,out}}$ 。

4、如权利要求 3 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_{pump} 和/或所述开度 α 和/或所述风扇开关 u_{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 ，还包括：

根据所述开度 α 与所述出口冷却液温度为 $T_{w,\text{rad,out}}$ ，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_{pump} 和/或所述开度 α 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 。

5、如权利要求 4 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 。

6、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；

7、如权利要求6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：

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。

8、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

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

其中, c_p 为车厢内空气的比热容, ρ_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。

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

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

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

ρ 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。

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

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

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

α_1 和 α_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 α_1 和 α_2 的函数。

11、如权利要求 10 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 $Q_{h,fc}$ ，获得所述第一水泵（120）的转速。

12、如权利要求 10 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 $Q_{T,igt}$ ，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。

13、如权利要求 10 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 $Q_{h,fc}$ ，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。

14、如权利要求 10 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。

15、如权利要求 14 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。

16、如权利要求 15 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。

17、如权利要求 5 或权利要求 12 或权利要求 13 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_{∞} 控制算法进行反馈控制。

18、如权利要求 12 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。

19、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：

获取所述第一加热器 140 功率和/或所述第一散热器 160 的风扇转速；

根据所述第一加热器 140 功率和/或所述第一散热器 160 的风扇转速进行前馈控制。

20、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，所述第一控制模式还包括：

根据所述第一水泵（120）的水泵转速 n_{pump} 和/或所述第一阀门（130）的开度 α 和/或所述第一散热器（160）的风扇开关 u_{fan} ，并结合 MAP 图进行控制，用以将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 。

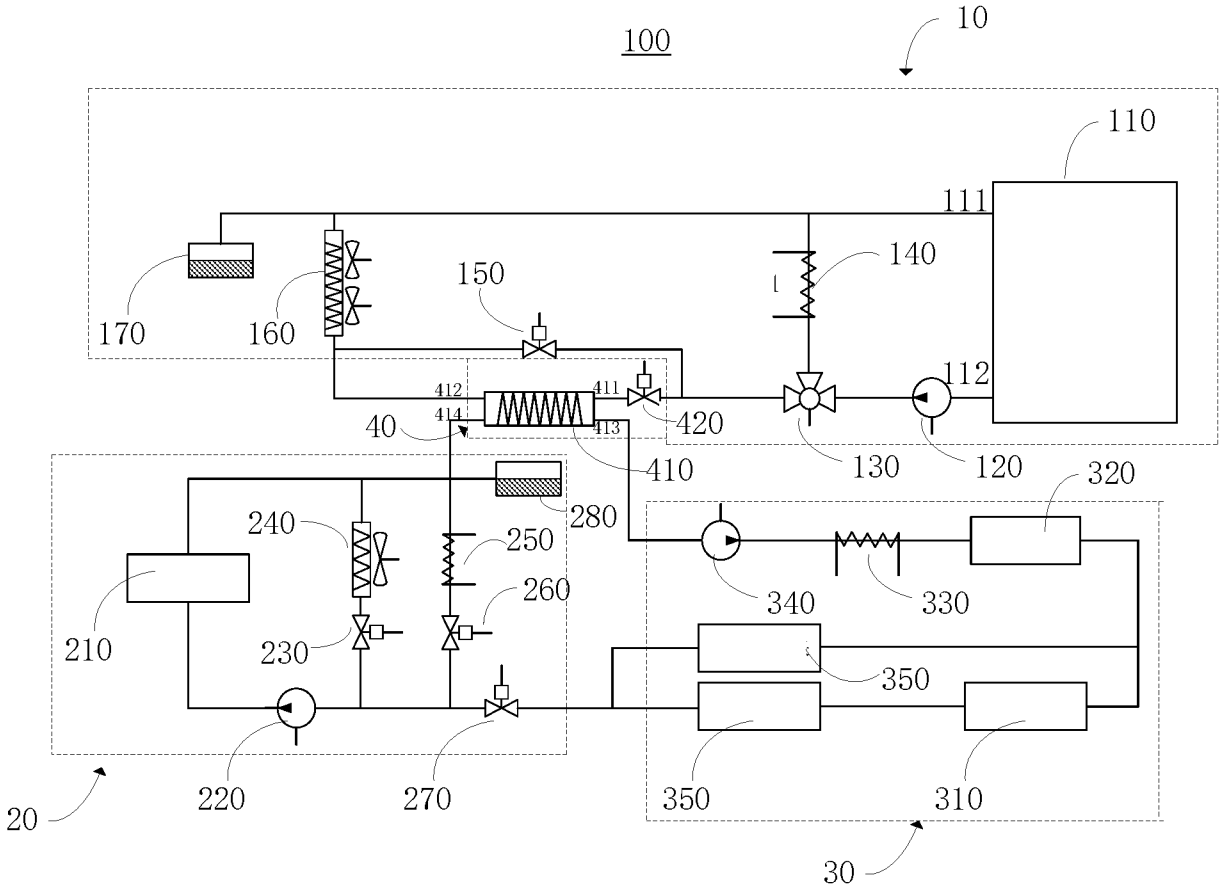


图 1

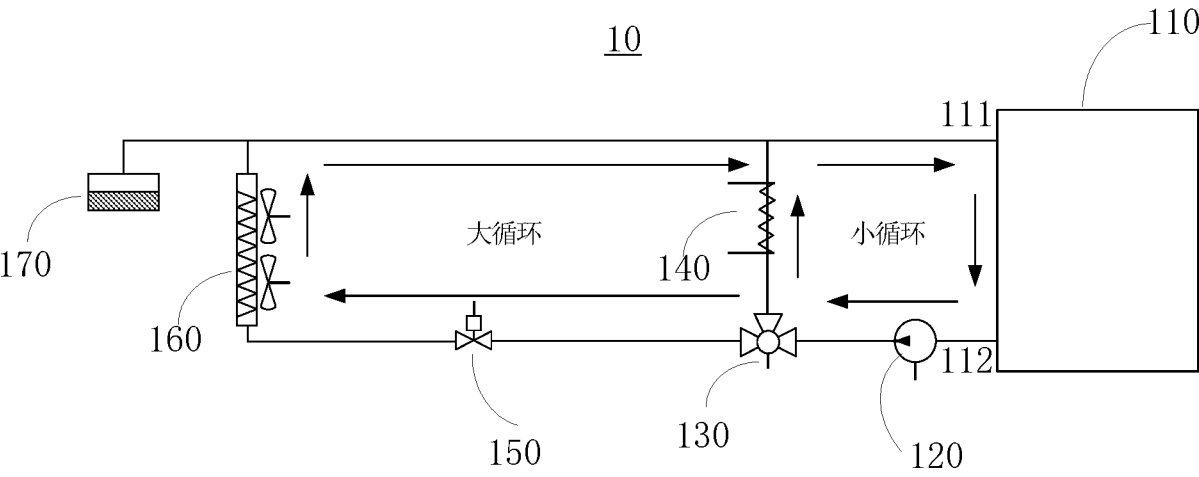


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/086970

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B60L 58/33(2019.01)i; H01M 8/04223(2016.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B60L;H01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 燃料电池, 汽车, 车辆, 热管理, 环境温度, 水泵, 阀门, 风扇, 前馈, 温度, 反馈, 补偿, fuel cell, vehicle, thermal, management, ambient, temperature, pump, valve, fan, feedforward, feedback, compensat+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 109962268 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 02 July 2019 (2019-07-02) description, paragraphs 72-136, figure 1	1-20
A	CN 109244505 A (JILIN UNIVERSITY) 18 January 2019 (2019-01-18) entire document	1-20
A	CN 108172930 A (ZHICHE YOUXING TECHNOLOGY (SHANGHAI) CO., LTD.) 15 June 2018 (2018-06-15) entire document	1-20
A	CN 110649281 A (XI'AN XINHENGKE MEASUREMENT AND CONTROL TECHNOLOGY CO., LTD.) 03 January 2020 (2020-01-03) entire document	1-20
A	JP 2008123697 A (TOYOTA JIDOSHA K. K.) 29 May 2008 (2008-05-29) entire document	1-20



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 November 2020

Date of mailing of the international search report

27 November 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/086970

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
CN	109962268	A	02 July 2019	CN	109962268	B	14 April 2020
CN	109244505	A	18 January 2019	None			
CN	108172930	A	15 June 2018	CN	108172930	B	22 May 2020
CN	110649281	A	03 January 2020	None			
JP	2008123697	A	29 May 2008	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/086970

A. 主题的分类

B60L 58/33 (2019.01) i; H01M 8/04223 (2016.01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

B60L;H01M

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC: 燃料电池, 汽车, 车辆, 热管理, 环境温度, 水泵, 阀门, 风扇, 前馈, 温度, 反馈, 补偿, fuel cell, vehicle, thermal, management, ambient, temperature, pump, valve, fan, feedforward, feedback, compensat+

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 109962268 A (清华大学) 2019年 7月 2日 (2019 - 07 - 02) 说明书第72-136段、图1	1-20
A	CN 109244505 A (吉林大学) 2019年 1月 18日 (2019 - 01 - 18) 全文	1-20
A	CN 108172930 A (智车优行科技上海有限公司) 2018年 6月 15日 (2018 - 06 - 15) 全文	1-20
A	CN 110649281 A (西安新衡科测控技术有限责任公司) 2020年 1月 3日 (2020 - 01 - 03) 全文	1-20
A	JP 2008123697 A (TOYOTA JIDOSHA KK) 2008年 5月 29日 (2008 - 05 - 29) 全文	1-20

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2020年 11月 10日

国际检索报告邮寄日期

2020年 11月 27日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

严薇

电话号码 86-(10)-53961283

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/086970

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109962268	A	2019年 7月 2日	CN 109962268 B	2020年 4月 14日
CN	109244505	A	2019年 1月 18日	无	
CN	108172930	A	2018年 6月 15日	CN 108172930 B	2020年 5月 22日
CN	110649281	A	2020年 1月 3日	无	
JP	2008123697	A	2008年 5月 29日	无	