



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103872354 A

(43) 申请公布日 2014. 06. 18

(21) 申请号 201310129806. 6

(22) 申请日 2013. 04. 15

(30) 优先权数据

10-2012-0145858 2012. 12. 14 KR

(71) 申请人 现代自动车株式会社

地址 韩国首尔

申请人 起亚自动车株式会社

(72) 发明人 罗盛煜 权相旭 朴勋雨

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限

公司 11322

代理人 龙淳 彭益群

(51) Int. Cl.

H01M 8/04 (2006. 01)

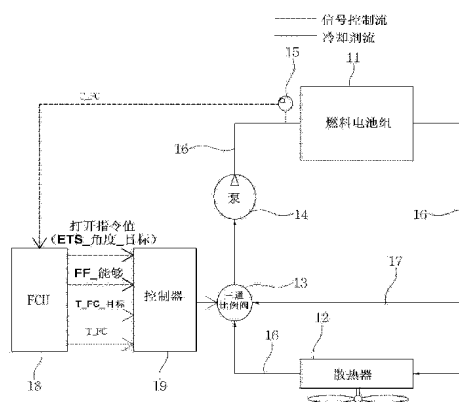
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

用于控制燃料电池系统的冷却剂温度的装置和方法

(57) 摘要

本发明涉及一种控制燃料电池系统的冷却剂温度的装置和方法,其能够通过进行基于车辆功率、各个季节的室外温度等的多点温度控制来改善燃料效率。



1. 一种用于控制燃料电池系统的冷却剂温度的装置,所述装置包括:
阀,安装在冷却剂管路中,以提供冷却剂用的流路;
燃料电池控制器,配置成基于控制因子可变地控制电池组进口冷却剂目标温度;以及
控制器,配置成接收来自所述燃料电池控制器的控制信号,并基于所述控制信号控制
所述阀,

其中,基于车辆的功率和各个季节的室外温度,通过多点温度控制来控制所述燃料电池系统的运行温度,从而提高燃料效率。

2. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述阀是通过电力传动机构操作的三通比例阀,并被配置成通过控制所述三通比例阀的打开程度来控制电池组进口的冷却剂温度。

3. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述控制因子包括选自室外温度、电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、持续时间及其组合中的至少一个。

4. 一种用于控制燃料电池系统的冷却剂温度的方法,所述方法包括:
通过传感器测量在燃料电池组的进口处的冷却剂温度;
通过燃料电池控制器,基于控制因子可变地控制电池组进口冷却剂目标温度;
通过所述燃料电池控制器,将所述电池组进口冷却剂温度的测量值与所述电池组进口冷却剂目标温度的预设值进行比较;并且

在所述电池组进口冷却剂温度的测量值大于所述电池组进口冷却剂目标温度的预设值时,控制器接收来自所述燃料电池控制器的控制信号,控制三通比例阀的打开程度,以跟随冷却剂目标温度,

其中基于车辆功率和各个季节的室外温度,即,散热性能,通过多点温度控制来控制所述燃料电池系统的运行温度,以提高燃料效率。

5. 根据权利要求 4 所述的方法,其中所述冷却剂目标温度随所述室外温度而变化。

6. 根据权利要求 4 所述的方法,其中所述冷却剂目标温度随电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、以及所述电池组产热率和所述电池组出口冷却剂温度的持续时间而变化。

7. 根据权利要求 4 所述的方法,还包括:

测量电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、以及所述电池组产热率和所述电池组出口冷却剂温度的持续时间;并且

在燃料电池控制器接收所述电池组产热率、所述电池组出口冷却剂温度、以及所述电池组产热率和所述电池组出口冷却剂温度的持续时间,当所述电池组产热率、所述电池组出口冷却剂温度、以及所述电池组产热率和所述电池组出口冷却剂温度的持续时间满足控制进入条件时,通过前馈控制直接控制所述三通比例阀的打开程度,以跟随打开指令值。

8. 根据权利要求 7 所述的方法,其中通过将所述电池组产热率、所述电池组出口冷却剂温度、以及所述电池组产热率和所述电池组出口冷却剂温度的持续时间分别与其参考值比较,来建立所述控制进入条件。

9. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述电池组产热率、所述电池组出口冷却剂温度、所述电池组产热率和所述电池组出口冷却剂温度的持续时间、以及所述打开指令值能够随所述室外温度而变化。

10. 一种非暂时性计算机可读介质,包括由处理器或控制器执行的程序指令,所述计算机可读介质包括:

基于控制因子可变地控制电池组进口冷却剂目标温度的程序指令；

将所述电池组进口冷却剂温度的测量值与所述电池组进口冷却剂目标温度的预设值进行比较的程序指令；以及

当所述电池组进口冷却剂温度的测量值大于所述电池组进口冷却剂目标温度的预设值时，控制三通比例阀的打开程度以跟随冷却剂目标温度的程序指令，

其中基于车辆功率和各个季节的室外温度，即，散热性能，通过多点温度控制来控制所述燃料电池系统的运行温度，以提高燃料效率。

11. 根据权利要求 10 所述的非暂时性计算机可读介质，其中所述冷却剂目标温度随所述室外温度而变化。

12. 根据权利要求 10 所述的非暂时性计算机可读介质，其中所述冷却剂目标温度随电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、以及所述电池组产热率和所述电池组出口冷却剂温度的持续时间而变化。

用于控制燃料电池系统的冷却剂温度的装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种控制燃料电池系统的冷却剂温度的装置和方法,其通过适当地保持冷却剂温度而改进燃料效率。

背景技术

[0002] 通常而言,燃料电池系统是通过氢与空气中氧之间的电化学反应将氢燃料转化为电能的设备,其优点在于,具有比内燃机更低的噪音和振动、能量效率高且没有污染。因此,意在将燃料电池系统应用到下一代环保车辆上的大量研究和开发持续在进展。

[0003] 具体而言,燃料电池系统通过电化学反应产生作为副产物的水以及热和电能,因此必然包括热管理系统(TMS),其将热从燃料电池组去除至燃料电池系统的外部、控制燃料电池组的运行温度、并执行水管理功能。

[0004] 图 1A 是示出燃料电池车中燃料电池系统的常规热管理系统的示意图。用于燃料电池系统的热管理系统包括:散热器 2(或热交换器),配置成将热从流经燃料电池组 1 的冷却剂中驱散至外部;冷却剂泵 3,配置成对冷却剂进行抽吸;冷却剂管路 5 和 6,配置成提供冷却剂用的流路;以及三通阀 4,配置成基于冷却剂的温度来转换流路。

[0005] 冷却剂管路 5 和 6 包括:循环管路 5,其将燃料电池组 1 和散热器 2 连接,从而冷却剂经散热器 2 进行循环;以及旁路 6,其使得从燃料电池组 1 中排放的冷却剂绕开散热器 2 并输送回燃料电池组 1。三通阀 4 安装在冷却剂管路 5 和 6 中,在散热器 2 的后方与旁路 6 相接。

[0006] 此处,必须控制燃料电池组的运行温度,以保持在最佳水平。通常而言,对经燃料电池组进口引入的冷却剂的温度进行测量,并将在燃料电池组进口的冷却剂温度控制在特定温度。

[0007] 上述利用冷却剂控制燃料电池系统的运行温度的方法将在下面详细描述。在燃料电池组的冷却剂温度上升至燃料电池组的最佳温度时,使用三通阀 4 将冷却剂控制成绕开散热器 2,当冷却剂温度上升至最佳温度以上时,使用三通阀 4(例如,恒温器)使冷却剂流经散热器 2,从而通过散热器与加热的冷却剂之间的热交换来控制燃料电池组 1 的温度。

[0008] 图 1B 是示出图 1A 的泵的可替换位置的示意图,如图 1B 所示,泵 3 的位置可以位于三通阀 4 与燃料电池组 1 之间。

[0009] 然而,在以上述方式通过三通阀将燃料电池系统的运行温度(即,电池组进口的冷却剂的温度)控制在特定温度时(即,一点温度控制)的情况下,根据一年中时间(季节)和运行模式(市区、公路等)不同而出现燃料效率的偏离,成为一大问题。

[0010] 以上在背景部分公开的信息仅用于加强对于本发明背景的理解,因而其可能包含不构成该国本领域技术人员所知的现有技术的信息。

发明内容

[0011] 本发明提供一种装置和方法,配置成控制燃料电池系统的冷却剂温度,其能根据

车辆功率、各个季节的室外温度等进行多点温度控制,从而改善燃料效率。

[0012] 一方面,本发明提供一种配置成控制燃料电池系统的冷却剂温度的装置,该装置包括:阀,安装在冷却剂管路中以提供冷却剂用流路;燃料电池控制器,配置成根据控制因子可变地控制电池组进口冷却剂目标温度;以及控制器,配置成从燃料电池控制器接收控制信号并基于控制信号来控制阀;其中基于车辆的功率以及与各个季节相关的室外温度通过多点温度控制来控制燃料电池系统的运行温度。

[0013] 在示例性实施方式中,阀可以是经电力传动机构操作的三通比例阀,并可以被配置成通过控制三通比例阀的打开程度来控制电池组进口的冷却剂温度。

[0014] 在另一个示例性实施方式中,控制因子可以包括选自室外温度、电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、持续时间及其组合中的至少一个。

[0015] 在另一个方面,本发明提供用于控制燃料电池系统的冷却剂温度的方法,该方法包括:测量在燃料电池组的进口处的冷却剂温度(即,电池组进口冷却剂温度);基于控制因子可变地控制电池组进口冷却剂目标温度;对电池组进口冷却剂温度的测量值与电池组进口冷却剂目标温度的预设值进行比较;并且当电池组进口冷却剂温度的测量值高于电池组进口冷却剂目标温度的预设值时,控制三通比例阀的打开程度,使之跟随冷却剂目标温度,其中基于车辆的功率和各个季节的室外温度(即,热扩散性能),通过多点温度控制来控制燃料电池系统的运行温度,以改善燃料效率。另外,冷却剂目标温度可以根据室外温度的不同而变化。

[0016] 在另一示例性实施方式中,冷却剂目标温度可以根据电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、和该电池组产率热和电池组出口冷却剂温度的持续时间而变化。

[0017] 在另一个示例性实施方式中,该方法还可以包括:测量电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、电池组产热率和电池组出口冷却剂温度的持续时间;和在燃料电池控制器接收电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、以及电池组产热率和电池组出口冷却剂温度的持续时间,当电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、和电池组产热率和和电池组出口冷却剂温度的持续时间满足控制进入条件时,通过前馈控制来直接控制三通比例阀的打开程度,以跟随打开的指令值。

[0018] 在另一示例性实施方式中,可以通过将电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、以及电池组产热率和电池组出口冷却剂温度的持续时间分别与其参考值进行比较来建立控制进入条件。

[0019] 在另一个示例性实施方式中,电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、电池组产热率和电池组出口冷却剂温度的持续时间、和打开指令值可以随室外温度而变。

[0020] 本发明的其他方面和示例性实施方式在下文中进行讨论。

附图说明

[0021] 本发明的上述和其他特征将参考在附图中示例的某些示例性实施方式来做详细描述,这些示例性实施方式仅以说明的方式在以下给出,因此并不限制本发明,其中:

[0022] 图 1A 是示出燃料电池车中燃料电池系统的常规热管理系统的示意图;

[0023] 图 1B 是示出图 1A 的泵的可替换位置的示意图;

[0024] 图 2 是示出根据本发明的电子三通比例阀的示意图;

- [0025] 图 3 是示出根据本发明示例性实施方式的基于电池组进口目标温度的 PI 控制；
- [0026] 图 4 是示出图 3 中电池组进口的目标温度的图表；
- [0027] 图 5 是示出根据本发明另一示例性实施方式的基于电池组产热率的前馈控制的结构图。
- [0028] 在附图中的附图标记包括对以下将要在下文中进一步讨论的元件：
- [0029] 11 :燃料电池组 12 :散热器
- [0030] 13 :三通比例阀 14 :冷却剂泵
- [0031] 15 :温度传感器 16 :循环管路
- [0032] 17 :旁路 18 :FCU
- [0033] 19 :控制器 20 :电力传动机构
- [0034] 21 :阀套 22 :第一冷却剂进口
- [0035] 23 :第二冷却剂进口 24 :冷却剂出口
- [0036] 应当理解的是,附图不必要成比例,而是呈现出阐明本发明基本原则的各种优选特征的略微简化的表示。本文中公开的本发明的具体设计特征,例如具体尺寸、取向、位置和形状,将部分地由特定意向的应用和使用环境来决定。
- [0037] 在附图中,参考数字涉及贯穿附图的本发明的相同或等同部分。

具体实施方式

[0038] 在下文中,将会详细做出对本发明多种实施方式的参考,其中的例子在附图中图解并在下面说明。尽管本发明将结合示例性实施方式进行描述,但应该理解,本说明书不意在将本发明局限于那些示例性实施方式。相反,本发明旨在不仅包括示例性实施方式,而且还包括多种替换、修改、同等物以及其他的实施方式,这些可以包括在所附权利要求限制的本发明的精神和范围内。

[0039] 应该理解的是,在本文中用到的术语“车辆”或“车辆的”或其他类似术语一般包括机动车辆,例如载客汽车,包括运动型多功能车(SUV)、公共汽车、卡车和各种商用车辆;包括各种船和艇在内的水运工具;飞行器;还包含混合动力车、电动车、插电式混合动力车、氢动力车和其他替代燃料车(例如,从非石油资源得来的燃料)。本文中提到的混合动力车是具有两种或更多种动力来源的车,例如同时为汽油动力和电力的车。

[0040] 另外,应该理解的是,以下的方法通过至少一个控制器执行。术语“控制器”是指包括存储器和处理器的硬件设备。存储器配置成储存模块,处理器具体配置成执行这些模块以执行下文中进一步说明的一种以上进程。

[0041] 此外,本发明的控制逻辑可以具体表现为,在含有由处理器、控制器等执行的可执行程序指令的计算机可读介质上的非暂时性计算机可读介质。计算机可读介质的例子包括但不限于 ROM、RAM、光盘(CD)-ROM、磁带、软盘、闪存驱动器、智能卡和光数据存储装置。计算机可读记录介质也可以分布在连接网络的计算机系统中,从而计算机可读媒体可以以这样的分布方式,例如,通过远程信息处理服务器或控制器局域网络(CAN)存储并执行。

[0042] 本发明提供配置成控制燃料电池系统的冷却剂温度的装置和方法,其能够基于多个参数,例如车辆的功率、室外温度等而非在常规方法中使用的具体温度等,通过控制在燃料电池车的燃料电池组进口处的冷却剂温度来改善燃料效率。

[0043] 图 2 是示出根据本发明的阀(例如,电子三通比例阀)的透视图。根据本发明的控制燃料电池系统的冷却剂温度的装置包括温度传感器 15、控制器 19、燃料电池控制器(FCU) 18、散热器 12、冷却剂泵 14、控制阀 13 等。

[0044] 温度传感器 15 安装在燃料电池组 11 的进口处,以测量经由燃料电池组 11 的进口引入的冷却剂的温度,并且可以选自能够测量冷却剂温度的那些温度传感器而没有特别的限制。此外,散热器 12 和冷却剂泵 14 与包括在常规燃料电池系统用的热管理系统中那些相同,因此将省略其详细说明。

[0045] 控制阀 13 可以是三通比例阀,包括阀套 21、双通冷却剂进口、和单通冷却剂出口 24。双通冷却剂进口包括:第一冷却剂进口 22,与旁路连接,从燃料电池组 11 的出口排出的并绕开散热器 12 的冷却剂经该进口引入;以及第二冷却剂进口 23,与循环管路 16 连接,从燃料电池组 11 的出口排出的并经过散热器 12 的冷却剂经该进口引入。单通冷却剂出口 24 与燃料电池组 11 的进口相连,以将引入阀套 21 的冷却剂供应至燃料电池组 11 的进口。

[0046] 冷却剂流动控制阀可以可旋转地安装在三通定量 13 阀中,以通过电力传动机构 20(例如,电动机)进行转动,从而基于转动方向来控制阀的打开程度。例如,冷却剂流动控制阀可以转动打开第一冷却剂进口 22 或第二冷却剂进口 23,当第一和第二冷却剂进口 22 和 23 都打开时,第一和第二冷却剂进口 22 和 23 的比率可以改变。此时,电动机可以从控制器 19 接收控制信号,以基于车辆的功率、各个季节的室外温度等来控制冷却剂流动控制阀的转动角度。

[0047] FCU18 是高等级的控制器,其配置成基于燃料电池车中的燃料电池系统的运行条件来控制冷却剂温度的整体控制。另一方面,控制器 19 从 FCU18 接收控制信号,以对三通比例阀 13 的整体运行进行控制。

[0048] 图 3 是示出根据本发明示例性实施方式的基于电池组进口目标温度的 PI 控制,图 4 是示出图 3 中电池组进口目标温度曲线的图表。本发明基于车辆的运行条件,通过多点温度控制法来控制三通比例阀 13,与现有技术相比,可以保持显著的长时间的最大功率,并改善在市区模式下的燃料效率。

[0049] 根据本发明示例性实施方式的用于控制燃料电池系统的冷却剂温度的方法,在对于燃料电池系统的热管理系统的控制过程中,通过比例-积分(PI)控制来控制电池组进口冷却剂温度,以跟随电池组进口冷却剂目标温度。此处,电池组进口冷却剂目标温度可以随室外温度而变化。

[0050] 例如,电池组进口目标温度可以在 56 到 66°C 范围中变化,该电池组进口冷却剂目标温度是从 FCU18 传送至控制器 19 的控制信号。FCU18 接收来自室外温度传感器的信号,以基于室外温度来改变电池组进口冷却剂目标温度,控制器 19 基于从 FCU18 接收的控制信号来控制三通比例阀 13 的打开程度,从而电池组进口冷却剂温度 T_{FC} 跟随电池组进口冷却剂目标温度 $T_{FC_目标}$ 。

[0051] 对于三通比例阀 13 的打开程度的控制,通过安装在三通比例阀 13 上的电力传动机构来完成,电力传动机构 20 接收来自控制器 19 的信号,以控制安装在阀套 21 中的冷却剂流动控制阀的运行,从而控制流经旁路 17 和散热器 12 的冷却剂的流量,并以此控制电池组进口冷却剂温度 T_{FC} 。

[0052] 例如,为了增加电池组进口冷却剂温度 T_{FC} ,三通比例阀 13 增加第一冷却剂进口

22 (其通过旁路 17) 的打开程度,使其大于第二冷却剂进口 23 (其通过散热器 12) 的打开程度,从而大量流经旁路 17 的较高温的冷却剂供应入燃料电池组 11 的进口。

[0053] 此外,为了降低电池组进口的冷却剂温度 T_{FC} ,三通比例阀 13 增加第二冷却剂进口 23 (其通过散热器 12) 的打开程度,使其大于第一冷却剂进口 22 (其通过旁路 17) 的打开程度,从而大量流经散热器 12 的较低温度的冷却剂供应入燃料电池组 11 的进口。当然,为了更急剧地增加或降低电池组进口的冷却剂温度 T_{FC} ,可以选择性地打开和关闭第一冷却剂进口 22 和第二冷却剂进口 23。

[0054] 以下将描述基于室外温度来控制目标电池组进口冷却剂温度的方法。例如,夏天时,当室外温度上升至较高的温度,燃料电池系统的运行温度和室外温度之间的差异相对小于冬天。当温差较小时,由室外温度引起的燃料电池散热率较小,因此可以通过降低电池组进口冷却剂目标温度,通过三通比例阀 13 降低电池组进口冷却剂温度,从而降低燃料电池系统的运行温度。此时,三通比例阀 13 增加流经散热器 12 的低温冷却剂的量,并将冷却剂供应至燃料电池组 11 的进口。

[0055] 此外,冬天时,当室外温度降低至较低的温度,燃料电池系统的运行温度与室外温度之间的差异大于夏天。当温差较大时,由室外温度引起的燃料电池系统散热率较大,因此可以通过增加电池组进口冷却剂目标温度,通过三通比例阀 13 增加电池组进口冷却剂温度,从而增加燃料电池系统的运行温度。

[0056] 图 5 是示出根据本发明示例性实施方式的基于电池组产热率的前馈控制。根据本发明另一示例性实施方式的用于控制燃料电池系统的冷却剂温度的方法,主动地通过基于电池组产热率的前馈控制来控制三通比例阀 13,以在加速和快速起动时需要相当功率时防止燃料电池组的温度上升。

[0057] 前馈控制是指一种控制方法,其中,FCU18,即高等级控制器直接将打开指令传送至三通比例阀 13,以减少阀打开时间。换言之,FCU18 还传送打开指令 $ETS_角度_目标$ 以及电池组进口冷却剂目标温度,而控制器 19 从 FCU18 接收相应信号,以控制三通比例阀 13 的打开,以跟随打开指令值。

[0058] 此处,打开指令值是指三通比例阀 13 的第二冷却剂进口 23 的打开程度。当打开指令值较大时,第二冷却剂进口 23 的打开程度更大,因此更大量的流经散热器 12 的冷却的冷却剂可以供应至燃料电池组 11 的进口,从而降低燃料电池组 11 的温度。

[0059] 用于确定前馈控制的条件可以包括三个参数,例如电池组产热率、电池组进口冷却剂温度、以及电池组产热率和电池组出口冷却剂温度的持续时间。用于确定并控制前馈控制的方法将在下面说明。

[0060] 电池组产热率和电池组出口冷却剂温度可以分别通过安装在燃料电池组 11 的内部和外部的温度传感器 15 来测量,电池组产热率和电池组出口冷却剂温度的持续时间可以通过计时器等进行测量。之后,FCU18 基于电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、以及电池组产热率的持续时间和电池组出口冷却剂温度的持续时间来确定是否进入前馈控制。

[0061] 当由温度传感器 15 测量的电池组产热率高于参考值 $P1$ (第一进入条件:电池组产热率 $\geq P1$) 时,当电池组出口冷却剂温度高于参考值 $T1$ (第二进入条件:电池组出口冷却剂温度 $\geq T1$) 时,并当电池组产热率和电池组出口冷却剂温度的持续时间持续预设时间 $S1$ (第三进入条件:持续时间 $=S1$) 时,前馈(FF)控制启动。当不满足所有以上三个条件时,FF

控制关闭。

[0062] 接下来,当 FF 控制启动时,FCU18 产生 FF 打开指令值并将对应于打开指令值的控制信号传送至控制器 19。之后,控制器 19 接收来自 FCU18 的控制信号,并控制三通比例阀 13,以跟随打开指令值。此处,最终的打开指令值包括基于电池组进口冷却剂目标温度的 PI 控制(即,基于目标温度的 PI 控制)计算值和 FF 控制指令值。

[0063] 此外,三通比例阀 13 的打开允许基于电池组进口冷却剂目标温度的 PI 控制在达到 FF 控制指令值之后执行。换言之,在 FF 控制过程中,将三通比例阀 13 的实际打开控制成不少于 FF 打开指令值。此处,电池组产热率、电池组出口冷却剂温度、持续时间以及用来确定是否进入 FF 控制的 FF 控制值,可以随室外温度而改变。

[0064] 例如,当室外温度升高时,可以降低对于电池组产热率的参考值 P1,可以降低对于电池组出口冷却剂温度的参考值 T1,可以降低电池组产热率和冷却剂温度的持续时间 S1,可以增加对于 FF 控制关闭的持续时间 S2,并且可以增加 FF 控制值。

[0065] 如上所述,根据本发明的用于控制燃料电池系统的冷却剂温度的装置和方法具有以下优点。

[0066] 首先,对于三通比例阀打开的控制并不基于具体的温度(即,单点温度控制)而是基于考虑室外温度、车辆功率、运行模式(例如,市区)等的多个温度(即,多点温度控制),因此可以通过基于车辆运行条件控制三通比例阀而防止对于各个季节和对于各个运行模式(市区、公路等)的燃料效率的偏差,并改善燃料效率。

[0067] 第二,可以基于电池组产热率的前馈控制,由阀的强制打开来减少阀开启时间,因此与常规技术相比(例如,3 秒),可以增加车辆在夏季的最大功率持续时间(例如,45 秒),并防止由过热引起的抛锚。

[0068] 本发明已经参考其示例性实施方式进行了详细说明。然而,本领域技术人员应该意识到,可以在这些实施方式中做出改变而不脱离本发明的原理和精神,本发明的范围由所附的权利要求及其等同物限定。

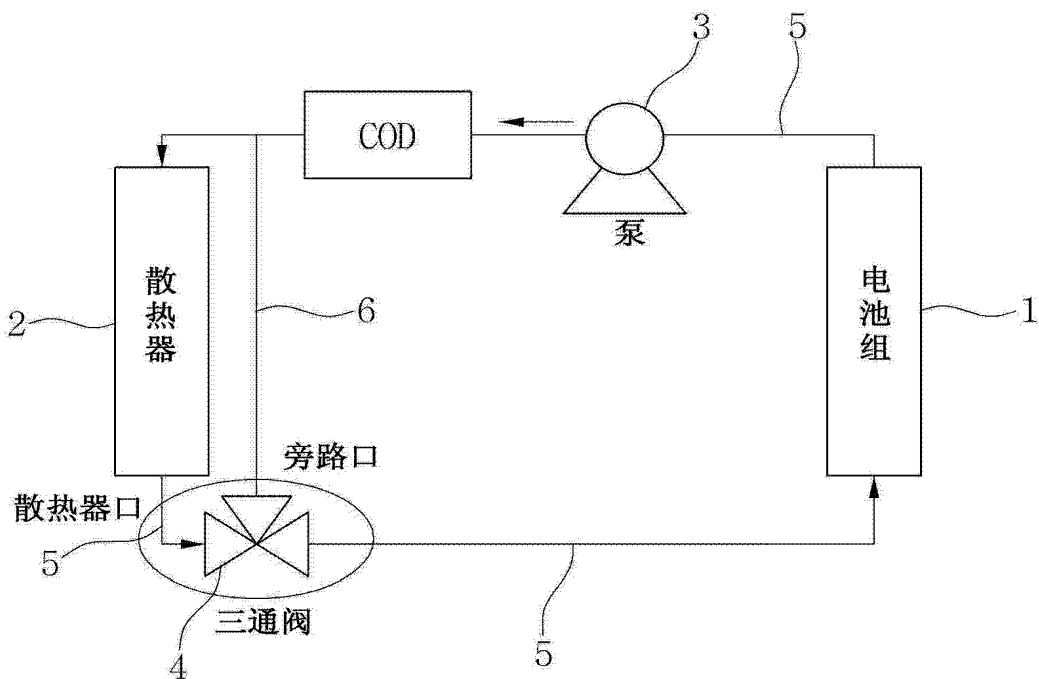


图 1A 现有技术

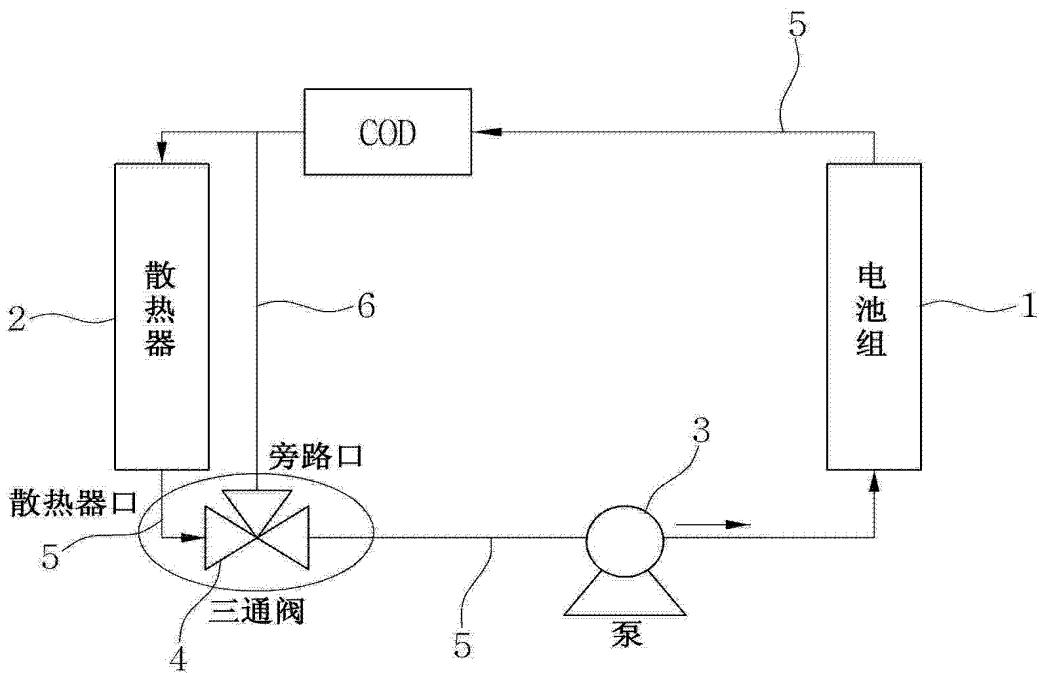


图 1B 现有技术

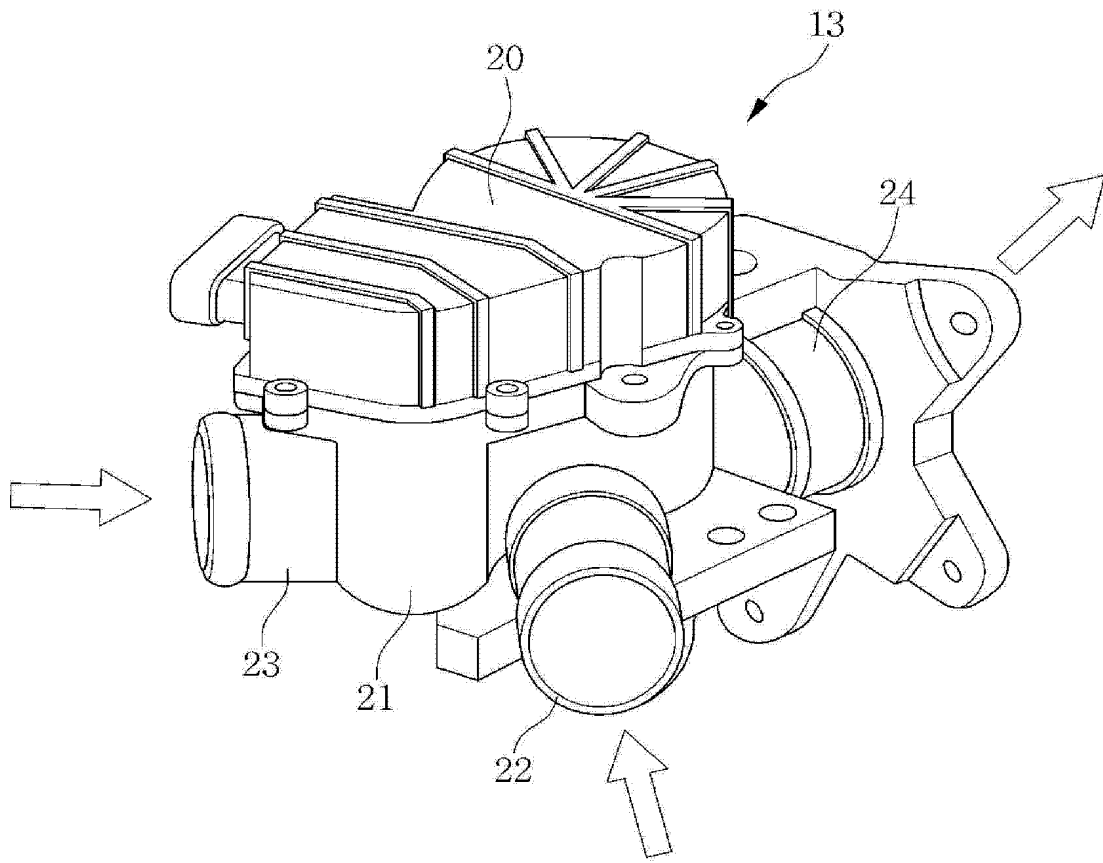


图 2

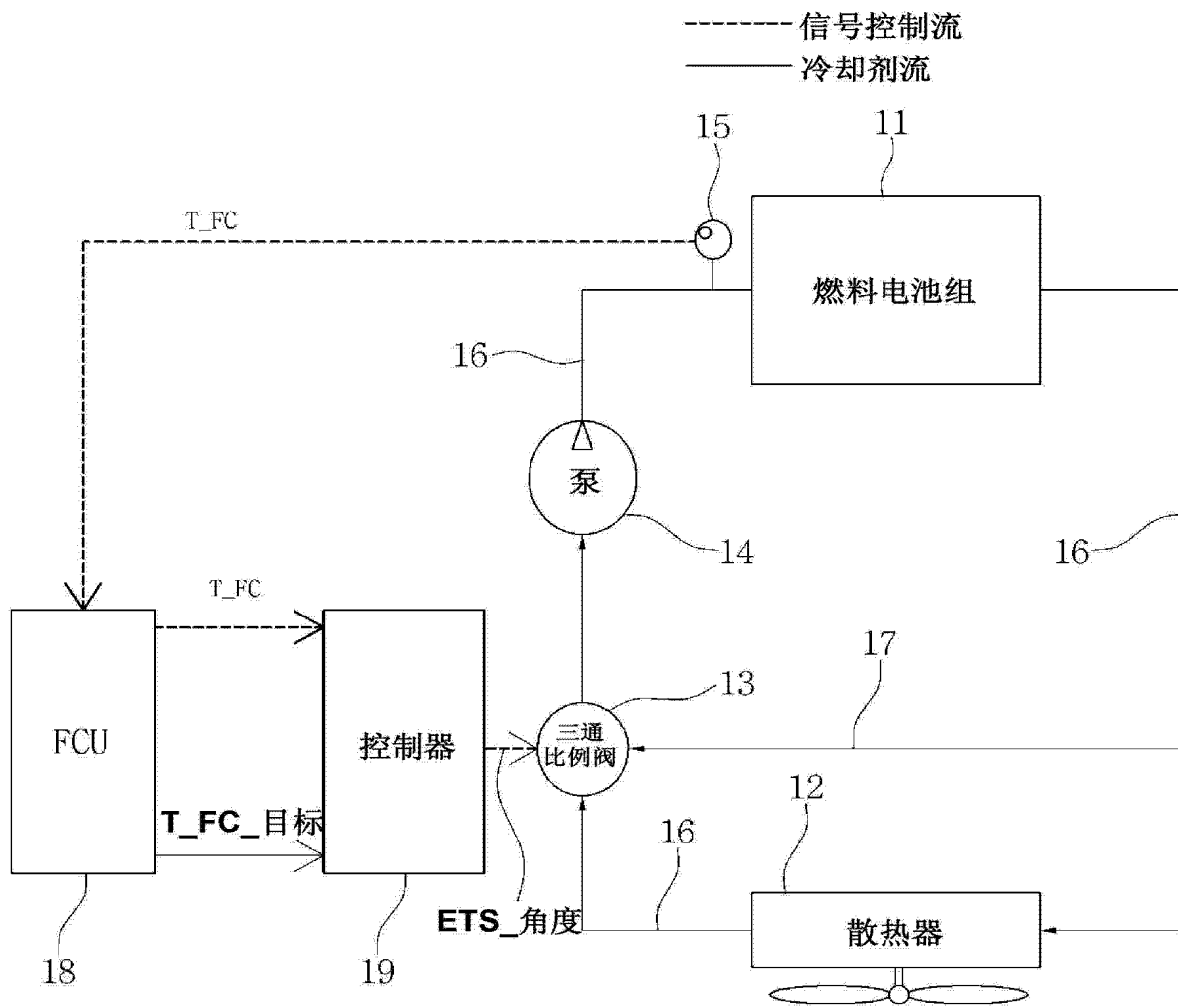


图 3

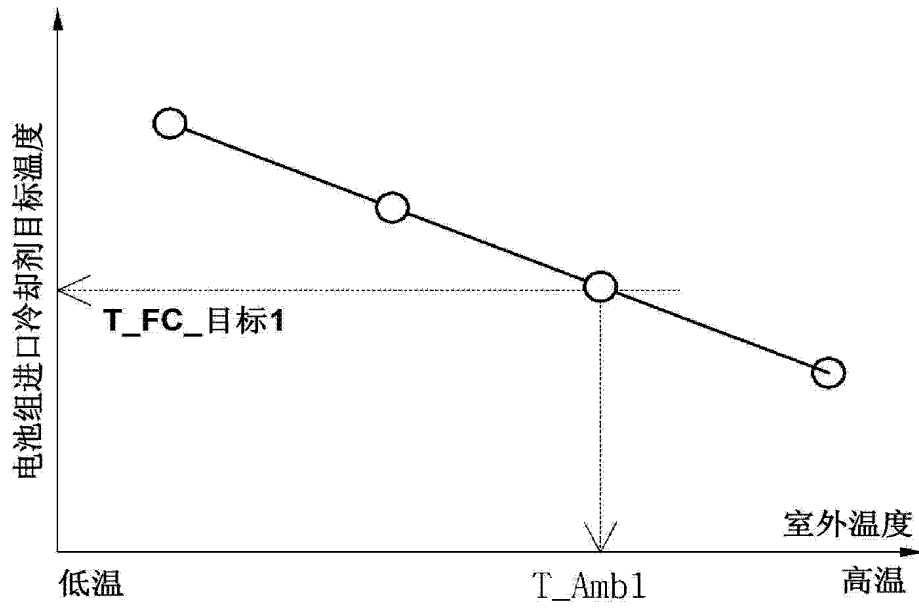


图 4

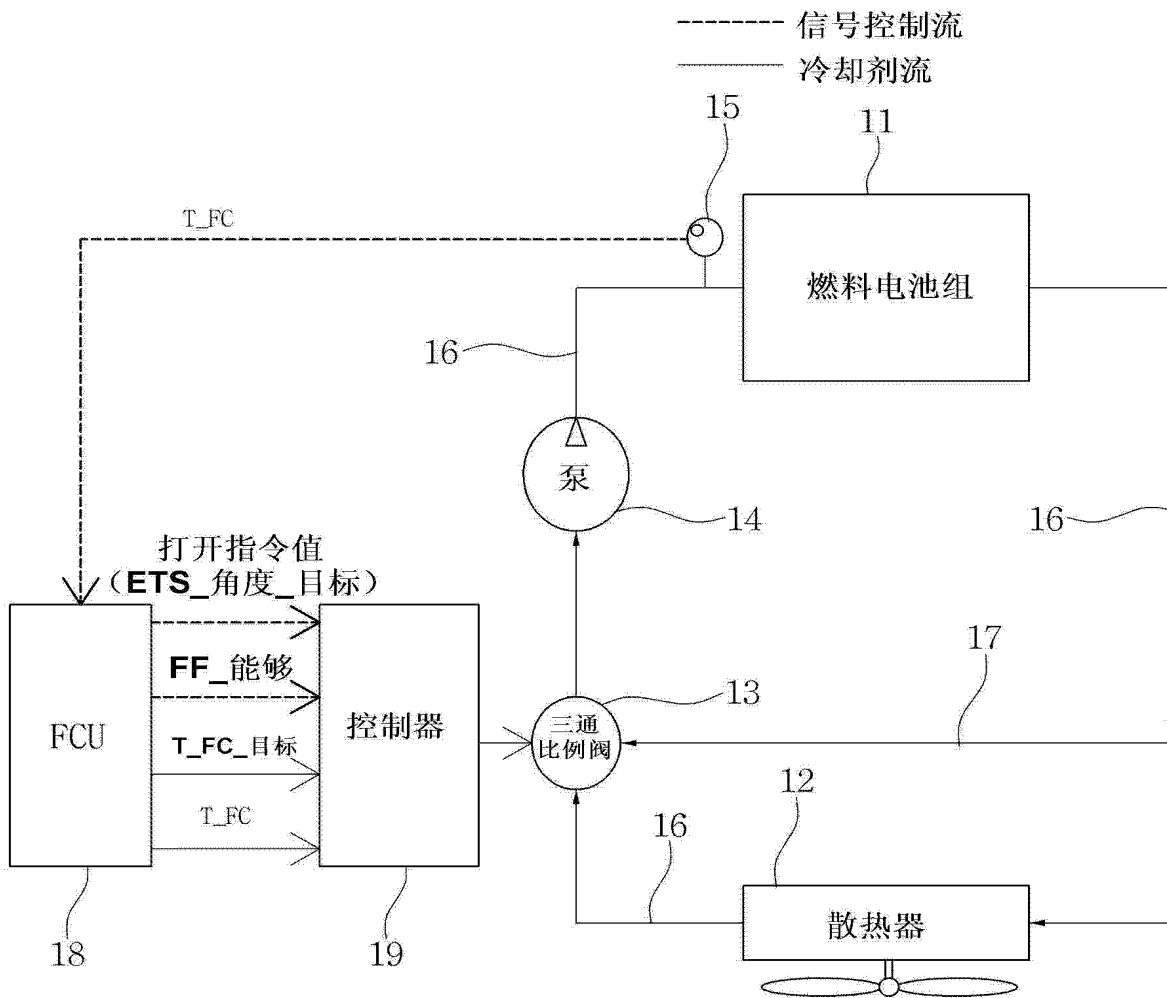


图 5