



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108091903 A

(43)申请公布日 2018.05.29

(21)申请号 201810055532.3

(22)申请日 2018.01.19

(71)申请人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园

(72)发明人 张钦国 李建秋 徐梁飞

欧阳明高 郭迪 江宏亮

(74)专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262

代理人 李红爽 龙洪

(51) Int. Cl.

H01M 8/04007(2016.01)

H01M 8/04029(2016.01)

H01M 8/04701(2016.01)

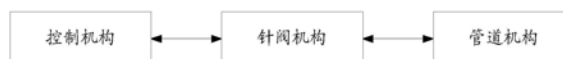
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种燃料电池电堆热管理装置、系统和方法

(57)摘要

本申请提出一种燃料电池电堆热管理装置、系统和方法,所述装置包括:管道机构贯穿燃料电池堆并与水箱、散热器、水泵相连接,用于将从燃料电池堆的冷却液出口排出的冷却液进行循环冷却后再传输至燃料电池堆的冷却液入口;控制机构与数据采集装置相连接,用于根据数据采集装置采集的温度信号确定冷却液的温度,根据温度信号控制针阀的开度使得冷却液的温度在预设温度范围内;针阀机构设置于水泵与散热器之间的通路上,用于根据控制机构的信号控制通过散热器的冷却液的流量。管道机构包括排气管道,排气管道分别设置于燃料电池堆的冷却液入口与水箱的通路上和去离子罐与水箱的通路上,用于将管道机构中冷却液中的气泡传输至水箱。



1. 一种燃料电池电堆热管理装置,其特征在于,包括:控制机构、针阀机构和管道机构,所述管道机构贯穿燃料电池堆并与水箱、散热器、水泵相连接,用于将从所述燃料电池堆的冷却液出口排出的冷却液进行循环冷却后再传输至所述燃料电池堆的冷却液入口;

所述控制机构与数据采集装置相连接,用于根据所述数据采集装置采集的目标区域的温度信号确定冷却液的温度,根据所述目标区域的温度信号控制针阀的开度使得冷却液的温度在预设温度范围内;

所述针阀机构设置于水泵与散热器之间的通路上,所述针阀机构的受控端连接于控制机构,用于根据控制机构的信号控制通过散热器的冷却液的流量。

2. 如权利要求1所述的装置,其特征在于:所述管道机构包括排气管道,所述排气管道分别设置于所述燃料电池堆的冷却液入口与水箱的通路上和去离子罐与水箱的通路上,用于将管道机构中冷却液中的气泡传输至所述水箱。

3. 如权利要求2所述的装置,其特征在于:所述控制机构,还用于根据所述数据采集装置采集的目标区域的压力信号确定冷却液的水压,根据所述目标区域的压力信号控制水泵的转速使得冷却液的水压值在预设水压范围内。

4. 如权利要求3所述的装置,其特征在于:所述数据采集装置包括:设置于燃料电池堆的冷却液入口处的压力传感器和温度传感器。

5. 如权利要求1所述的装置,其特征在于:所述控制机构,还用于根据所述目标区域的温度信号控制风扇的转速使得冷却液的温度在预设温度范围内。

6. 如权利要求1所述的装置,其特征在于:还包括:加热装置,所述加热装置设置在所述水泵与所述燃料电池堆的通路上,所述控制机构目标区域的温度信号驱动所述加热装置为冷却液加热。

7. 一种燃料电池电堆热管理系统,其特征在于,包括:权利要求1至6任一所述的燃料电池电堆热管理装置、数据采集装置、水箱、散热器和水泵。

8. 如权利要求7所述的系统,其特征在于:所述数据采集装置包括设置于燃料电池堆的冷却液入口处的压力传感器和温度传感器。

9. 如权利要求7所述的系统,其特征在于:还包括去离子罐,所述去离子罐的冷却液入口连接在所述散热器的冷却液入口,所述去离子罐的冷却液出口连接在所述水箱的冷却液入口。

10. 一种燃料电池电堆热管理方法,其特征在于,包括:

采集目标区域的温度信号并确定冷却液的温度;

根据所述目标区域的温度信号控制针阀的开度使得冷却液的温度在预设温度范围内。

11. 如权利要求10所述的方法,其特征在于:还包括:

采集目标区域的压力信号并确定冷却液的水压;

根据所述目标区域的压力信号控制水泵的转速使得冷却液的水压值在预设水压范围内。

12. 如权利要求10所述的方法,其特征在于:还包括:

对冷却液加热。

## 一种燃料电池电堆热管理装置、系统和方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及燃料电池的热管理技术领域,具体涉及一种燃料电池电堆热管理装置、系统和方法。

### 背景技术

[0002] 燃料电池(例如质子交换膜燃料电池(PEMFC))发电正以急起直追的势头快步进入工业化规模应用的阶段,将成为21世纪继火电、水电、核电后的第四代发电方式,燃料电池的动态性能和使用寿命受进气湿度、进气流量及温度的影响很大,而且工作过程中会产生大量的热量需要散掉,同时,功率越大,发动机产生的热量越多,需要设计满足大功率发动机散热需求的散热系统;

[0003] 因此,开发先进的大功率燃料电池发动机测试系统显得尤为重要,PEMFC的高效率、无污染、建设周期短、易维护以及低成本的潜能引发新能源与环保的绿色革命,如今,PEMFC需要同时要保证在冬季低温环境中启动和运行。从经济性和系统工作质量的角度来看,气泡对系统的危害是相当大的,严重地危害着系统的工作可靠性,其导热系数大大减低,严重地影响着冷却液的冷却效果。引起系统的振动和噪声。当气泡伴随流动的压力液再次从局部低压区流向高压区时气泡破裂消失,气泡破裂消失就会伴随气穴噪声的产生。同时大量气泡溃灭会导致局部高压引起较大的压力波动,使系统产生振动,进而影响到控制元件和控制元件的工作性能。在测试过程中发现原结构会导致电堆进口或者出口处出现大量气泡而造成管路中的湍流或旋窝,而且由于节温器开度的滞后性,出现短时温度过高和温度波动较大的情况。

[0004] 因此,建立一套高性能的热管理系统对于提高电堆的工作性能和提高寿命具有很高的现实意义。

### 发明内容

[0005] 本发明提供一种燃料电池电堆热管理装置、系统和方法,实现精确控制冷却液的温度和方便排气的电堆热管理系统。

[0006] 为了实现上述发明目的,本发明采取的技术方案如下:

[0007] 第一方面,本发明提供一种燃料电池电堆热管理装置,包括:控制机构、针阀机构和管道机构,

[0008] 所述管道机构贯穿燃料电池堆并与水箱、散热器、水泵相连接,用于将从所述燃料电池堆的冷却液出口排出的冷却液进行循环冷却后再传输至所述燃料电池堆的冷却液入口;

[0009] 所述控制机构与数据采集装置相连接,用于根据所述数据采集装置采集的目标区域的温度信号确定冷却液的温度,根据所述目标区域的温度信号控制针阀的开度使得冷却液的温度在预设温度范围内;

[0010] 所述针阀机构设置于水泵与散热器之间的通路上,所述针阀机构的受控端连接于

控制机构,用于根据控制机构的信号控制通过散热器的冷却液的流量。

[0011] 优选地,所述管道机构包括排气管道,所述排气管道分别设置于所述燃料电池堆的冷却液入口与水箱的通路上和去离子罐与水箱的通路上,用于将管道机构中冷却液中的气泡传输至所述水箱。

[0012] 优选地,所述控制机构,还用于根据所述数据采集装置采集的目标区域的压力信号确定冷却液的水压,根据所述目标区域的压力信号控制水泵的转速使得冷却液的水压值在预设水压范围内。

[0013] 优选地,所述数据采集装置包括:设置于燃料电池堆的冷却液入口处的压力传感器和温度传感器。

[0014] 优选地,所述控制机构,还用于根据所述目标区域的温度信号控制风扇的转速使得冷却液的温度在预设温度范围内。

[0015] 优选地,所述的装置还包括:加热装置,所述加热装置设置在所述水泵与所述燃料电池堆的通路上,所述控制机构目标区域的温度信号驱动所述加热装置为冷却液加热。

[0016] 第二方面,本发明实施例还提供一种燃料电池电堆热管理系统,包括:上述的燃料电池电堆热管理装置、数据采集装置、水箱、散热器和水泵。

[0017] 优选地,所述数据采集装置包括设置于燃料电池堆的冷却液入口处的压力传感器和温度传感器。

[0018] 优选地,所述的系统还包括去离子罐,所述去离子罐的冷却液入口连接在所述散热器的冷却液入口,所述去离子罐的冷却液出口连接在所述水箱的冷却液入口。

[0019] 第三方面,本发明还提供一种燃料电池电堆热管理方法,包括:

[0020] 采集目标区域的温度信号并确定冷却液的温度;

[0021] 根据所述目标区域的温度信号控制针阀的开度使得冷却液的温度在预设温度范围内。

[0022] 优选地,所述的方法还包括:

[0023] 采集目标区域的压力信号并确定冷却液的水压;

[0024] 根据所述目标区域的压力信号控制水泵的转速使得冷却液的水压值在预设水压范围内。

[0025] 优选地,所述的方法还包括:

[0026] 对冷却液加热。

[0027] 本发明和现有技术相比,具有如下有益效果:

[0028] 本发明的技术方案可精确控制冷却液的温度和方便排气的电堆热管理系统,实现电堆的低温启动和冷却液精确控制,便于排掉循环管路中的气体和便于加注和更换冷却液。

## 附图说明

[0029] 图1为本发明实施例的一种燃料电池电堆热管理装置的结构示意图;

[0030] 图2为本发明实施例的一种燃料电池电堆热管理方法的流程图;

[0031] 图3为本发明实施例的一种燃料电池电堆热管理系统的结构示意图;其中,1为燃料电池堆,2为温度传感器,3为压力传感器,4为过滤器,5为水箱,6为去离子罐,7为散热器,

8为风扇,9为加热棒,10为电子三通阀,11为水泵,12为手阀,13为储水箱,14为辅助温度传感器,15为加水管,16为散热器排气管路,17为系统的排气口;

[0032] 图4为本发明实施例6的风扇的控制策略示意图。

### 具体实施方式

[0033] 为使本发明的发明目的、技术方案和有益效果更加清楚明了,下面结合附图对本发明的实施例进行说明,需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例和实施例中的特征可以相互任意组合。

[0034] 如图1所示,本发明实施例提供一种燃料电池电堆热管理装置,包括:控制机构、针阀机构和管道机构,

[0035] 所述管道机构贯穿燃料电池堆并与水箱、散热器、水泵相连接,用于将从所述燃料电池堆的冷却液出口排出的冷却液进行循环冷却后再传输至所述燃料电池堆的冷却液入口;

[0036] 所述控制机构与数据采集装置相连接,用于根据所述数据采集装置采集的目标区域的温度信号确定冷却液的温度,根据所述目标区域的温度信号控制针阀的开度使得冷却液的温度在预设温度范围内;

[0037] 所述针阀机构设置于水泵与散热器之间的通路上,所述针阀机构的受控端连接于控制机构,用于根据控制机构的信号控制通过散热器的冷却液的流量。

[0038] 优选地,所述管道机构包括排气管道,所述排气管道分别设置于所述燃料电池堆的冷却液入口与水箱的通路上和去离子罐与水箱的通路上,用于将管道机构中冷却液中的气泡传输至所述水箱。

[0039] 优选地,所述控制机构,还用于根据所述数据采集装置采集的目标区域的压力信号确定冷却液的水压,根据所述目标区域的压力信号控制水泵的转速使得冷却液的水压值在预设水压范围内。

[0040] 优选地,所述数据采集装置包括:设置于燃料电池堆的冷却液入口处的压力传感器和温度传感器。

[0041] 优选地,所述控制机构,还用于根据所述目标区域的温度信号控制风扇的转速使得冷却液的温度在预设温度范围内。

[0042] 优选地,所述的装置还包括:加热装置,所述加热装置设置在所述水泵与所述燃料电池堆的通路上,所述控制机构目标区域的温度信号驱动所述加热装置为冷却液加热。

[0043] 本发明实施例还提供一种燃料电池电堆热管理系统,包括:上述的燃料电池电堆热管理装置、数据采集装置、水箱、散热器和水泵。

[0044] 优选地,所述数据采集装置包括设置于燃料电池堆的冷却液入口处的压力传感器和温度传感器。

[0045] 优选地,所述的系统还包括去离子罐,所述去离子罐的冷却液入口连接在所述散热器的冷却液入口,所述去离子罐的冷却液出口连接在所述水箱的冷却液入口。

[0046] 如图2所示,本发明实施例还提供一种燃料电池电堆热管理方法,包括:

[0047] S1、采集目标区域的温度信号并确定冷却液的温度;

[0048] S2、根据所述目标区域的温度信号控制针阀的开度使得冷却液的温度在预设温度

范围内。

[0049] 优选地,所述的方法还包括:

[0050] 采集目标区域的压力信号并确定冷却液的水压;

[0051] 根据所述目标区域的压力信号控制水泵的转速使得冷却液的水压值在预设水压范围内。

[0052] 优选地,所述的方法还包括:对冷却液加热。

[0053] 实施例1

[0054] 本实施例结合图3,说明燃料电池电堆热管理的冷却系统的工作过程:

[0055] 本发明实施例中,当冷却液的温度低于预设温度范围时,冷却液从燃料电池堆的冷却液出口排出,经过水泵的增压,经过针阀机构,从燃料电池堆的冷却液入口进行燃料电池堆吸热冷却。如果冷却液中有气泡,当冷却液循环至燃料电池堆的冷却液入口时,气泡从排气管道排出至水箱,从水箱上端的排气口排出,此过程可以简称为小循环。

[0056] 当冷却液的温度在预设温度范围内时,冷却液从燃料电池堆的冷却液出口排出,经过水泵的增压,经过针阀机构,由控制机构控制针阀机构的开度,使得一部分冷却液从燃料电池堆的冷却液入口进行燃料电池堆吸热冷却;另一部分冷却液经过散热器进行冷却降温后,从燃料电池堆的冷却液入口进行燃料电池堆吸热冷却。如果冷却液中有气泡,当冷却液循环至散热器时,气泡从散热器的排气管道排出至去离子罐,再从水箱上端的排气口排出,当管路中的气体排完后,部分冷却液通过去离子罐流入水箱中,在通过管路补给到燃料电池堆的冷却液出口处,进行循环冷却,此过程可以简称为大循环。

[0057] 冷却液的温度越高,控制机构控制针阀机构的开度,使得进入散热器的冷却液的流量越大,直到全部冷却液都进入散热器。当全部冷却液都经过散热器进行冷却液降温后,检测的冷却液温度仍然高于预设温度范围,控制机构控制风扇开启并控制风扇的转速,对冷却液进一步降温。

[0058] 当检测冷却液的水压超出预设水压范围时,控制机构调整水泵的转速,使得冷却液的水压值满足预设水压范围。

[0059] 实施例2

[0060] 结合图3,本实施例说明燃料电池电堆热管理系统组成:包括:燃料电池堆1、散热器7、风扇8、水泵11、电子三通阀10、去离子罐6、补水水箱5、控制器、过滤器4、加热棒9及温度传感器2和压力传感器3。用一个电子三通阀10来调整冷却流路的大、小循环,能够根据水温的变化快速改变三通阀10的开度,与现有技术相比,避免传统节温器反应滞后引起的系统温度和压力的过大波动,有效地避免了水温过高对电堆内部造成的伤害。补水水箱5既可以用来排除管路中的气体,又可以从排气管路16处加注去离子水,操作方便快捷。在小循环管路中安装了加热棒9,用于低温环境下启动电堆时使用。散热器7与去离子罐6并联连接使用,并且去离子罐6串联在散热器7的排气管路中。冷却风扇8能够根据电堆采集到的冷却液的温度信号实时调整转速,保证电堆稳定在最佳工作温度,通过控制水泵的转速调节冷却液的流量保证电堆的进口和出口冷却液的温度差不超过10摄氏度。在电堆入口处和散热器7的进出口两侧增加了排气管路连通道水箱5,解决了管路中的排气困难的难题。在电堆出口处安装了开关手阀12,便于更换去离子水。本实施例对于大功率燃料电池发动机测试平台的开发具有重要的意义,同时新系统对于提高发动机的性能和寿命具有重要的影响。

[0061] 实施例3

[0062] 本实施例结合图3,燃料电池电堆热管理系统的组成:包括:

[0063] 电堆1;

[0064] 排气管路,包括小循环和大循环两种情况,与水箱相连。

[0065] 去离子罐6,与散热器7并联,安装在散热器7的排气管路中。

[0066] 水箱5,安装在散热器7顶部,用于加注去离子水和排除管路中的气体。

[0067] 电子三通阀10,用于控制大、小循环。

[0068] 加热棒9,安装在小循环水路中,用于冷启动用。

[0069] 风扇8,由PMW(脉冲宽度调制,Pulse Width Modulation)信号控制,能够根据水的温度变化而无级变速。

[0070] 控制器,用于接收传感器的信号,控制风扇8、电子三通阀10和水泵11。

[0071] 手阀12,安装在电堆出口和水泵11之间的最低点处。

[0072] 所述热管理系统还包括电堆入口处的温度传感器2和压力传感器3,电堆出口的辅助温度传感器14,保证电堆的进、出口冷却液的温度差不超过10℃,进堆冷却液的压力不超过170kPa。

[0073] 所述的温度传感器2、14和压力传感器3会将采集的温度值和压力值反馈给控制器。

[0074] 所述的控制器会根据得到的温度和压力值输出PWM信号控制风扇8的转速,同时控制电子三通阀10的开度以及水泵11的转速。

[0075] 所述的加热棒9用于低温启动时使用,使用时电子三通阀10自动切换到小循环,待冷却液温度升高到0度以上即可启动电堆。

[0076] 所述的水箱5顶部是开口的结构,去离子水从顶部开口处加注,去离子水沿着管路流到水泵11的入口处,加注过程中电子三通阀10要切换到大循环模式。保证散热器中充满去离子水,直到去离子水的高度高于散热器7最高处即可。

[0077] 所述的手阀12可手动打开,可方便排掉系统中的去离子水。

[0078] 实施例4

[0079] 本实施例结合图3所示,说明热管理系统,包括:

[0080] 散热器7、风扇8以及位于散热器7顶部的水箱5,去离子罐6安装在散热器7的排气管路中,水箱5与管路中的排气管相连接,同时水箱5底部还有管路与水泵11进水口相连接用于给系统补水。电堆入口处安装排气管路用于小循环时管路中的气体,散热器7两端也安装排气管路用于大循环时管路中的气体。电子三通阀10控制大循环和小循环,加热棒9安装在小循环回路中,用于低温启动时给冷却液加热用。控制器,用于采集温度传感器2和压力传感器3的信号,根据采集到的信号控制风扇8和水泵11的转速,电子三通阀10的开度以及加热棒9的开关。

[0081] 进一步地,所述的热管理系统安装了一个手阀12,手阀12安装在电堆出口的最低点处,可手动打开能够方便快捷的更换掉系统中的去离子水,被一个储水箱收集。

[0082] 进一步地,所述的电子三通阀10是根据温度的变化来控制开度的,大、小循环的开启温度为60摄氏度,当温度达到60摄氏度时,电子三通阀逐渐打开,温度越高开度越大,当温度高于65度时开度为100%,冷却液全部通过大循环的散热器7进行散热。

[0083] 进一步地,所述的水箱5安装在散热器7的上部,散热器7的排气管路与之相连,同时小循环时的排气管也与之相连,防止在电堆入口处存留气泡。

[0084] 进一步地,所述的水箱5底部有一根管路与电堆出口处的管路相连,冷却液加注到水箱5后流进管路中,同时起到补水的作用。

[0085] 进一步地,所述的散热器7两端均有排气管路与去离子罐6相连。

[0086] 进一步地,所述的冷却液为去离子水,电导率要低,提高系统的绝缘性。

[0087] 进一步地,所述的去离子罐6安装在散热器7的排气管路中,对去离子水需要在工作中对产生的离子进行净化,防止燃料电池系统因绝缘性下降而导致的性能衰减,从而提高燃料电池系统的寿命

[0088] 进一步地,所述的低温启动的电加热器,加热冷却液的温度到零度以上即可启动电堆。

[0089] 进一步地,所述的控制器与所述的温度传感器2和所述的压力传感器3连接,接受传感器采集到的温度值和压力值。

[0090] 进一步地,所述的控制器与风扇8、电子三通阀10、水泵11和加热器9相连,根据冷却液的温度和压力控制风扇8的转速、冷却液的流量、电子三通阀10的开度及加热棒9的功率。

[0091] 进一步地,所述的热管理系统出现故障,电子三通阀10自动切换到大循环,风扇8全速运转,保证冷却液的温度不超标。

[0092] 实施例5

[0093] 如图3所示,本实施例提供了一种燃料电池电堆热管理系统,包括电堆1,风扇8,散热器7,去离子罐6,水泵11,电子三通阀10,过滤器4,水箱5,手阀12,控制器,加热棒9等。整套热管理系统由控制器实现全自动控制。

[0094] 冷却管路中安装有两个温度传感器2、14,分别安装在电堆的入口和出口处。同时还在电堆入口处安装了一个压力传感器3用于检测进堆的冷却液的压力。

[0095] 所述的冷却液为去离子水,通过所述的水箱5加注到系统中,直到去离子水充满整个系统,待水位高于散热器顶部即可,同时不能高于与管路连接的排气口17。

[0096] 所述的电子三通阀10起到节温器的作用,当冷却液的温度达到60摄氏度时,三通阀10开始打开,随着温度的升高,开度逐渐变大,当温度达到65摄氏度时三通阀全部打开,冷却液全部通过散热器7。

[0097] 整套系统拥有两个排气口,第一排气口在电堆进口处,第二排气口16在散热器7的两端,出气口均与水箱5相连。当小循环开启时,管路中的气体当过第一排气口排到水箱中,然后通过水箱5顶部的开口处排除。当大循环开启后,管路中的气体当过第二排气口16排到水箱5中,然后通过水箱顶部的开口处17排除。

[0098] 所述的去离子罐6与散热器7并联,串联在排气管路中,当管路中的气体排完后,部分冷却液就会通过去离子罐6流入水箱中,在通过管路补给到冷却系统中,达到降低系统电导率的目的。

[0099] 所述的电加热棒9安装在系统的小循环管路中,给在低温环境下电堆启动前进行加热。当控制器监测到温度传感器2的信号达到零度时即可停止加热启动电堆。

[0100] 该热管理系统由所述的控制器进行自动控制:

[0101] 所述的控制器接收到温度传感器2的温度信号后,对加热棒9的加热时间和加热功率进行控制,直到水温高于零度才停止加热。

[0102] 所述的控制器接收到温度传感器2的温度信号后,对电子三通阀10的开度进行控制,水温高于60℃三通阀10开始打开,达到65℃后三通阀10全部打开,冷却液全部通过散热器7。

[0103] 所述的控制器接收到温度传感器2的温度信号后,输出PWM信号,对风扇8进行无极调速,控制冷却液的温度在70℃以内。

[0104] 冷却前通过水箱5给系统加注冷却液。冷却结束后,通过所述的手阀12将冷却液排掉。

[0105] 实施例6

[0106] 风扇的控制策略如图4所示,本实施例中可以在全部冷却液都经过散热器进行冷却液降温后,冷却液温度仍然高于预设温度范围,控制机构控制风扇开启并控制风扇的转速,对冷却液进一步降温,也可以在启动电源后,风扇是始终开启,由控制机构根据冷却液的温度控制调节风扇的转速。

[0107] 本实施例的风扇的控制过程如下:

[0108] 开机给电;

[0109] 判断是否存在风扇保护电压限制,当存在时,由控制机构进行PMW控制,能够根据冷却液的温度变化而无级变速;

[0110] 当不存在时,判断燃料电池电堆是否运行,

[0111] 当电堆运行时,比较测量的目标区域冷却液的温度和风扇开启温度,当冷却液的温度高于风扇开启温度时,控制机构根据冷却液的温度确定风扇的转速,当确定传感器出现故障时,风扇全速运转;

[0112] 当电堆不运行时,根据预设的停机后电堆保护温度确定风扇的转速,当确定传感器出现故障时,风扇全速运转。

[0113] 虽然本发明所揭示的实施方式如上,但其内容只是为了便于理解本发明的技术方案而采用的实施方式,并非用于限定本发明。任何本发明所属技术领域内的技术人员,在不脱离本发明所揭示的核心技术方案的前提下,可以在实施的形式和细节上做任何修改与变化,但本发明所限定的保护范围,仍须以所附的权利要求书限定的范围为准。

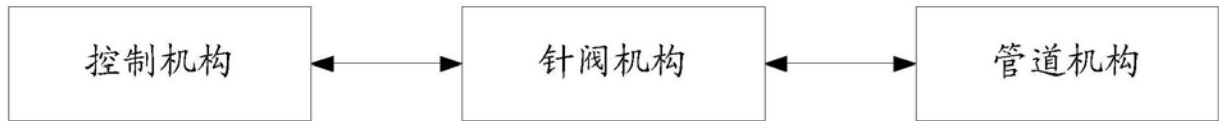


图1

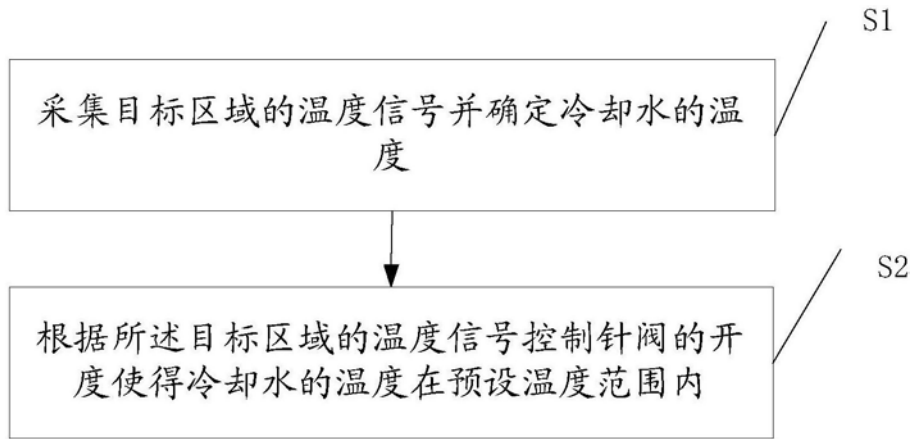


图2

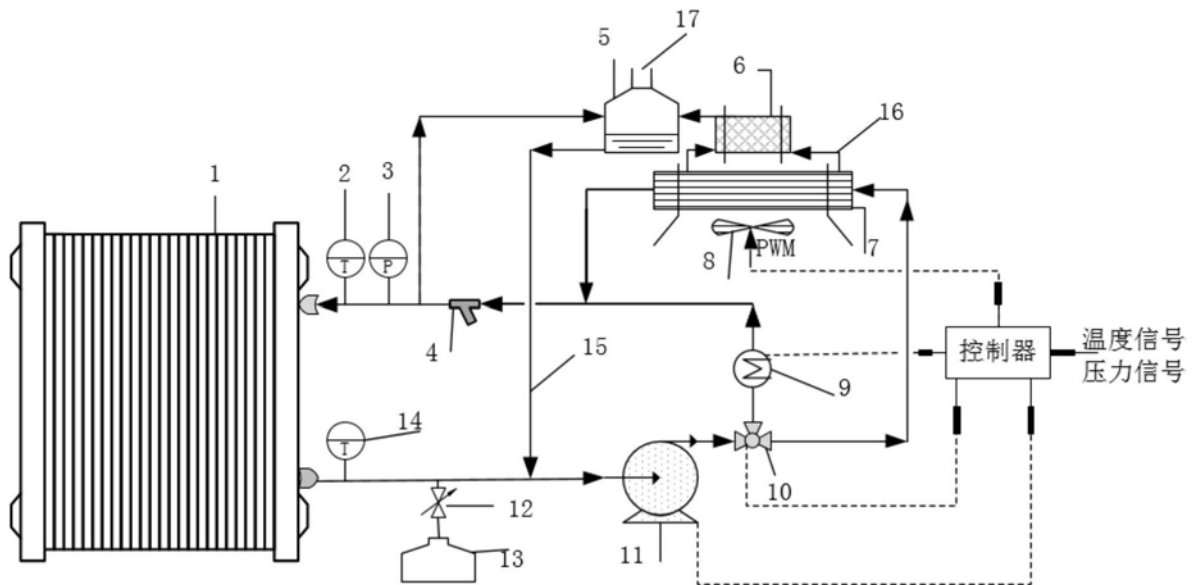


图3

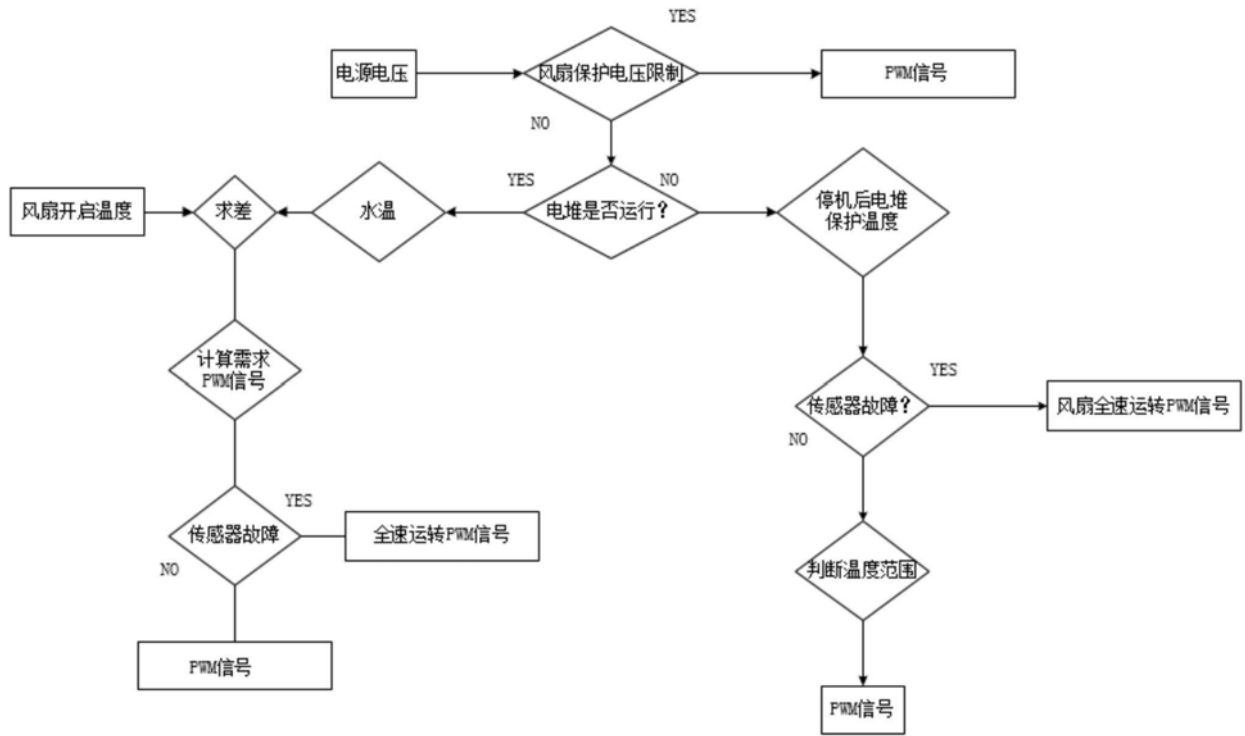


图4