



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113140755 A

(43) 申请公布日 2021.07.20

(21) 申请号 202110418138.3

H01M 8/04746 (2016.01)

(22) 申请日 2021.04.19

H01M 8/04992 (2016.01)

(71) 申请人 绍兴学森能源科技有限公司  
地址 312030 浙江省绍兴市柯桥区茴香街  
道创意路315号1幢四楼407、409、411

(72) 发明人 殷园 焦杰然 张曙 候明涛  
陈立华 张卫东

(74) 专利代理机构 绍兴越牛专利代理事务所  
(普通合伙) 33394

代理人 王剑

(51) Int. Cl.

H01M 8/04082 (2016.01)

H01M 8/04089 (2016.01)

H01M 8/04119 (2016.01)

H01M 8/0438 (2016.01)

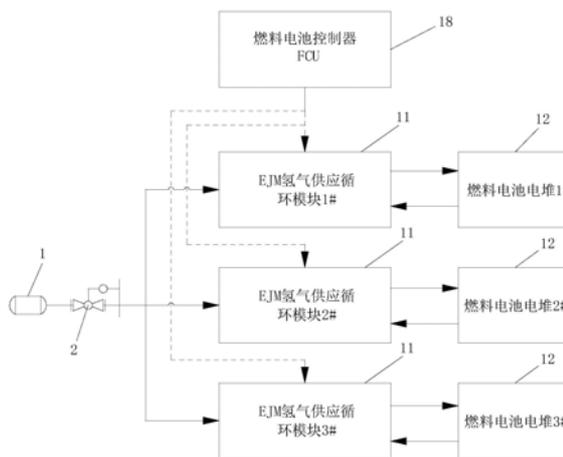
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种多堆燃料电池氢气供应系统及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种多堆燃料电池氢气供应系统及其控制方法,包括氢气储存装置、减压阀组件、EJM氢气供给模块和燃料电池电堆;所述EJM氢气供给模块的数量和燃料电池电堆的数量相同且通过管路一一对应连接,所述EJM氢气供给模块通过管路与减压阀组件连接,所述减压阀组件通过管路连接氢气储存装置,各EJM氢气供给模块通过控制器域网连接燃料电池控制器;所述燃料电池控制器通过控制器域网可与多个EJM氢气供给模块的控制器相连,进行数据交互。本发明的多堆燃料电池氢气供应系统采用模块化设计,减少了供氢系统零部件、管道、接头连接,降低了氢气泄露风险,集成方便;模块内置EJM控制器,通过燃料电池控制器可进行单、多堆氢气供应,系统并联协同运行。



1. 一种多堆燃料电池氢气供应系统,其特征在于:包括氢气储存装置(1)、减压阀组件(2)、EJM氢气供给模块(11)和燃料电池电堆(12),所述EJM氢气供给模块(11)的数量和燃料电池电堆(12)的数量相同且通过管路一一对应连接,所述EJM氢气供给模块(11)通过管路与减压阀组件(2)连接,所述减压阀组件(2)通过管路连接氢气储存装置(1),各EJM氢气供给模块(11)通过控制器域网连接燃料电池控制器(18)。

2. 根据权利要求1所述的多堆燃料电池氢气供应系统,其特征在于:所述EJM氢气供给模块(11)包括EJM控制器(10)、与减压阀组件(2)连接的中压氢气供给口(13)、与中压氢气供给口(13)连接的阳极压力调节阀(4)、与阳极压力调节阀(4)连接的引射器(5)以及与引射器(5)连接的低压氢气出口(15),所述中压氢气供给口(13)与阳极压力调节阀(4)之间的管路上设置有氢气中压压力传感器(3),所述引射器(5)与低压氢气出口(15)之间的管路上设置有泄压阀(6)和氢气低压压力传感器(7),所述泄压阀(6)位于引射器(5)和氢气低压压力传感器(7)之间且泄压阀(6)连接EJM氢气供给模块(11)上的泄压排放口(14),所述引射器(5)通过管路连接汽水分离器(8),所述汽水分离器(8)通过管路分别连接EJM氢气供给模块(11)的排氢口(17)和氢气循环口(16),所述排氢口(17)与汽水分离器(8)之间的管路上设置有排氢电磁阀(9);所述燃料电池电堆(12)的阳极氢气供给口连接低压氢气出口(15),燃料电池电堆(12)的反应气体出口连接氢气循环口(16);所述EJM控制器(10)分别电性连接氢气中压压力传感器(3)、阳极压力调节阀(4)、引射器(5)、泄压阀(6)、氢气低压压力传感器(7)、汽水分离器(8)和排氢电磁阀(9),所述EJM控制器(10)通过控制器域网连接燃料电池控制器(18)。

3. 根据权利要求2所述的多堆燃料电池氢气供应系统,其特征在于:所述阳极压力调节阀(4)为比例电磁阀或氢气喷射器。

4. 一种多堆燃料电池氢气供应系统的控制方法,其特征在于:包括燃料电池控制器(18)与EJM氢气供给模块(11)的控制方法,以及EJM氢气供给模块(11)的内部控制方法,

所述燃料电池控制器(18)与EJM氢气供给模块(11)的控制方法包括,各EJM氢气供给模块(11)内的EJM控制器(10)通过控制器域网接收燃料电池控制器(18)的控制指令,同时EJM控制器(10)也实时上报采集数据信息和自身的状态信息;

所述EJM氢气供给模块(11)的内部控制方法包括以下步骤,

1) 根据工况需求,燃料电池控制器(18)向各个EJM氢气供给模块(11)输出压力目标  $p_{an}^{set}$ ,利用EJM控制器(10)内的过渡模块(19)对目标阳极压力  $p_{an}^{set}$  进行滤波,得到参考压力  $p_{an}^{ref}$ ;

2) 根据参考压力  $p_{an}^{ref}$  和氢气低压传感器(7)采集的实际反馈阳极压力  $p_{an}$  之差,经过EJM控制器(10)内的PID控制模块(20)计算,得到反馈控制量  $u_b$ ;

3) 根据需求电流  $i$ ,通过EJM控制器(10)内的电流补偿模块(21)查表得到电流前馈控制量  $u_c$ ;

4) 根据电堆操作要求,EJM控制器(10)向排氢电磁阀(9)输出排氢序列命令  $d_p$ ;

5) 根据排氢命令  $d_p$ ,测得的环境压力  $p_{en}$  及阳极压力  $p_{an}$ ,通过排氢补偿模块(22)得到排氢补偿量  $u_p$ ;

6) 将反馈控制量 $u_b$ 、电流前馈控制量 $u_c$ 及排氢补偿量 $u_p$ 相加,得到压力调节阀开度 $u$ :

$$u = u_b + u_c + u_p;$$

7) EJM控制器(10)计算压力调节阀开度 $u$ ,并向压力调节阀(4)下发该指令,控制其开度。

5. 根据利要求4所述的多堆燃料电池氢气供应系统的控制方法,其特征在于:所述过渡模块(19)采用的微分方程如下,

$$\dot{p}_{an}^{ref} = \frac{1}{T} (p_{an}^{ref} - p_{an}^{set})$$

其中, $p_{an}^{ref}$ 为参考压力; $\dot{p}_{an}^{ref}$ 为参考压力对时间的导数; $p_{an}^{set}$ 为设定阳极压力; $T$ 为时间常数。

6. 根据利要求4所述的多堆燃料电池氢气供应系统的控制方法,其特征在于:所述PID模块(20)采用的方程如下,

$$u_b(t) = k_p e_p(t) + k_i \int_0^t e_p(\tau) d\tau + k_d \frac{de_p(t)}{dt}$$

其中 $u_b$ 为反馈控制量, $e_p$ 为参考阳极压力 $p_{an}^{ref}$ 与实际阳极压力 $p_{an}$ 之差, $k_p$ 为比例控制参数, $k_i$ 为积分控制参数, $k_d$ 为微分控制参数。

7. 根据利要求4所述的多堆燃料电池氢气供应系统的控制方法,其特征在于:所述电流补偿模块(21)为电流 $i$ 到阳极压力调节阀(4)开度的前馈表格,前馈表格按照工程实践进行标定,且应满足如下要求:

$$\dot{m}_{an}(u_c, \Delta p_{hrv}, T_{hrv}) \geq \lambda_{H_2} \frac{i \times n_{cell}}{2F}$$

其中, $\dot{m}_{an}(u_c, \Delta p_{hrv}, T_{hrv})$ 为在开度、压力调节阀(4)两端压差、压力调节阀(4)温度分别为 $u_c$ ,  $\Delta p_{hrv}$ ,  $T_{hrv}$ 时的压力调节阀(4)的流量, $\lambda_{H_2}$ 为计量比, $n_{cell}$ 为电堆内含有的单体片数, $F$ 为法拉第常数。

8. 根据利要求4所述的多堆燃料电池氢气供应系统的控制方法,其特征在于:所述排氢补偿模块(22)包含使能和不使能两种状态,所述排氢补偿模块(22)使能和不使能两种状态切换的条件为:当排氢电磁阀(9)处于开启状态时,即 $d_p = 1$ ,排氢补偿模块(22)使能;当排氢电磁阀(9)处于关闭状态时,即 $d_p = 0$ ,排氢补偿模块(22)不使能。

9. 根据利要求8所述的多堆燃料电池氢气供应系统的控制方法,其特征在于:所述排氢补偿模块(22)使能状态下,排氢补偿量 $u_p$ 根据环境压力 $p_{en}$ 和氢气低压传感器(7)所采集阳极压力 $p_{an}$ 查找二维表得到,该二维表可在工程实践中基于阳极压力波动要求进行标定,满足如下需求:

$$\max_t p_{an}(t) - \min_t p_{an}(t) \leq \Delta p_{an}^{req}, t \in X$$

该方程表述的是在一段时间 $X$ 内,阳极最大压力 $p_{an}$ 与最小压力之差应小于电堆压力波动需求值 $\Delta p_{an}^{req}$ 。

10. 根据利要求8所述的多堆燃料电池氢气供应系统的控制方法,其特征在于:所述排氢补偿模块(22)不使能状态下,排氢补偿量 $u_p = 0$ 。

## 一种多堆燃料电池氢气供应系统及其控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及燃料电池技术领域,尤其是涉及一种多堆燃料电池氢气供应系统及其控制方法。

### 背景技术

[0002] 氢燃料电池堆利用氢气和氧气电化学反应产生电能,最终产物为水,并且具有负排放、无污染、能量利用率高等特点,是未来新能源发展的方向。

[0003] 为提高氢气利用率、优化水管理能力和提升氢安全性能,氢气循环组件是质子交换膜燃料电池氢气供应系统中的重要组成部分,氢气循环组件主要有氢气循环泵和引射器。

[0004] 引射器利用高速喷射工作流体造成的压差将喷出的气体不断吸入并再喷出,相比氢气循环泵,这种装置无移动部件、结构简单、运行可靠,而且无寄生功率,是实现燃料电池氢气循环利用的理想装置。

[0005] 相比引射器,氢循环泵在主动可调节、快响应速度和宽工作区间等方面占有一定优势,但设备对氢气的密封性要求较高,设备可靠性较差。

[0006] 中国专利CN108539222A公开了一种车载燃料电池多模块并联氢气循环系统及其控制方法,包括依次串联连接的储氢单元、减压组件、第一电磁阀、第一气水分离器,第一气水分离器的排气端连接燃料电池电堆单元的氢气入口,第一气水分离器的排水端连接排水阀,燃料电池电堆单元由多个燃料电池电堆并联组成,燃料电池电堆的氢气出口依次连接第二电磁阀和第二气水分离器,第二气水分离器的排气端连接氢气循环泵,氢气循环泵的出口连接第一气水分离器的入口,第二气水分离器的排水端连接排水阀。该专利多模块并联的氢气循环系统,通过控制电磁阀,可实现有效的氢气循环,提高氢气利用率,同时循环系统可增强氢气回路排水,使质子交换膜的含水量得以有效控制。

[0007] 目前多堆燃料电池氢气供应系统中氢气循环多采用各个回路统一循环,随着并联电堆数目的增加,在所配置的氢气循环泵的功率不增加的情况下,氢气循环流量会越来越小;若需要保持循环流量不变,则所需配置的氢气循环泵的功率需要不断增高,导致系统寄生功率升高,系统整体效率降低,此外,采用各个回路统一循环,当氢气循环泵出现故障后,整个系统将无法正常运行。

[0008] 目前多堆燃料电池氢气供应系统的采用各个回路串联统一供氢,随着并联电堆数目的增加,电堆运行所需要氢气流量也相应增加,供氢管路管径也需要相应增加,系统的体积也会变得越来越大,此外,阳极压力调节阀的数量会成倍增加,给电堆阳极入口压力控制、调节带来新的挑战。

[0009] 虽然,目前多堆燃料电池氢气供应系统也有采用各个回路各自循环的方案,但是,其氢气供应并非模块化设计,供氢系统零部件、管道、接头连接数量多,增加了接头连接处氢气泄露风险,且与不同电堆适配性较差;此外,氢气供应系统中未加入控制模块,导致客户对其阀门的控制运行及调度极为困难,甚至在多堆运行的情况下,无法实现多个供氢系

统运行调度及故障隔离。

## 发明内容

[0010] 本发明的目的是为了解决现有技术中的问题,提供一种多堆燃料电池氢气供应系统及其控制方法,各EJM氢气供给模块均通过控制器域网连接燃料电池控制器,实现多个供氢系统运行调度及故障隔离,EJM氢气供给模块采用模块化设计,供氢系统零部件及控制器均集成在一个模块中,减少供氢系统零部件、管道、接头连接数量,降低了接头连接处氢气泄露风险。

[0011] 为了达到上述目的,本发明的技术方案是:

[0012] 一种多堆燃料电池氢气供应系统,包括氢气储存装置、减压阀组件、EJM氢气供给模块和燃料电池电堆,所述EJM氢气供给模块的数量和燃料电池电堆的数量相同且通过管路一一对应连接,所述EJM氢气供给模块通过管路与减压阀组件连接,所述减压阀组件通过管路连接氢气储存装置,各EJM氢气供给模块通过控制器域网连接燃料电池控制器。

[0013] 优选的,所述EJM氢气供给模块包括EJM控制器、与减压阀组件连接的中压氢气供给口、与中压氢气供给口连接的阳极压力调节阀、与阳极压力调节阀连接的引射器以及与引射器连接的低压氢气出口,所述中压氢气供给口与阳极压力调节阀之间的管路上设置有氢气中压压力传感器,所述引射器与低压氢气出口之间的管路上设置有泄压阀和氢气低压压力传感器,所述泄压阀位于引射器和氢气低压压力传感器之间且泄压阀连接EJM氢气供给模块上的泄压排放口,所述引射器通过管路连接汽水分离器,所述汽水分离器通过管路分别连接EJM氢气供给模块的排氢口和氢气循环口,所述排氢口与汽水分离器之间的管路上设置有排氢电磁阀;所述燃料电池电堆的阳极氢气供给口连接低压氢气出口,燃料电池电堆的反应气体出口连接氢气循环口;所述EJM控制器分别电性连接氢气中压压力传感器、阳极压力调节阀、引射器、泄压阀、氢气低压压力传感器、汽水分离器和排氢电磁阀,所述EJM控制器通过控制器域网连接燃料电池控制器。

[0014] 优选的,所述阳极压力调节阀为比例电磁阀或氢气喷射器。

[0015] 一种多堆燃料电池氢气供应系统的控制方法,包括燃料电池控制器与EJM氢气供给模块的控制方法,以及EJM氢气供给模块的内部控制方法,

[0016] 所述燃料电池控制器与EJM氢气供给模块的控制方法包括,各EJM氢气供给模块内的EJM控制器通过控制器域网接收燃料电池控制器的控制指令,同时EJM控制器也实时上报采集数据信息和自身的状态信息;

[0017] 所述EJM氢气供给模块的内部控制方法包括以下步骤,

[0018] 1) 根据工况需求,燃料电池控制器18向各个EJM氢气供给模块11输出压力目标 $p_{an}^{set}$ ,利用EJM控制器内的过渡模块对目标阳极压力 $p_{an}^{set}$ 进行滤波,得到参考压力 $p_{an}^{ref}$ ;

[0019] 2) 根据参考压力 $p_{an}^{ref}$ 和氢气低压传感器采集的实际反馈阳极压力 $p_{an}$ 之差,经过EJM控制器内的PID控制模块计算,得到反馈控制量 $u_b$ ;

[0020] 3) 根据需求电流 $i$ ,通过EJM控制器内的电流补偿模块查表得到电流前馈控制量 $u_c$ ,其表格根据具体系统的阳极压力上升速率和电堆氢气消耗量需求进行标定;

[0021] 4) 根据电堆操作要求,EJM控制器向排氢电磁阀输出排氢命令 $d_p$ ;

$$[0022] \quad d_p = \begin{cases} 1, & \text{排氢阀开启} \\ 0, & \text{排氢阀关闭} \end{cases};$$

[0023] 5) 根据排氢命令 $d_p$ 、测得的环境压力 $p_{en}$ 及氢气低压传感器采集的阳极压力 $p_{an}$ ,通过排氢补偿模块得到排氢补偿量 $u_p$ ;

[0024] 6) 将反馈控制量 $u_b$ 、电流前馈控制量 $u_c$ 及排氢补偿量 $u_p$ 相加,得到压力调节阀开度 $u$ :

$$[0025] \quad u = u_b + u_c + u_p;$$

[0026] 7) EJM控制器计算压力调节阀开度 $u$ ,并向压力调节阀下发该指令,控制其开度。

[0027] 优选的,所述过渡模块采用的微分方程如下,

$$[0028] \quad \dot{p}_{an}^{ref} = \frac{1}{T} (p_{an}^{ref} - p_{an}^{set})$$

[0029] 其中, $p_{an}^{ref}$ 为参考压力; $\dot{p}_{an}^{ref}$ 为参考压力对时间的导数; $p_{an}^{set}$ 为设定阳极压力; $T$ 为时间常数。

[0030] 优选的,所述PID模块采用的方程如下,

$$[0031] \quad u_b(t) = k_p e_p(t) + k_i \int_0^t e_p(\tau) d\tau + k_d \frac{de_p(t)}{dt}$$

[0032] 其中 $u_b$ 为反馈控制量, $e_p$ 为参考阳极压力 $p_{an}^{ref}$ 与实际阳极压力 $p_{an}$ 之差, $k_p$ 为比例控制参数, $k_i$ 为积分控制参数, $k_d$ 为微分控制参数。

[0033] 优选的,所述电流补偿模块为电流 $i$ 到阳极压力调节阀开度的前馈表格,需要基于阳极压力上升速率及电堆电流消耗等操作要求按照工程实践进行标定,且应满足如下要求:

$$[0034] \quad \dot{m}_{an}(u_c, \Delta p_{hrv}, T_{hrv}) \geq \lambda_{H_2} \frac{i \times n_{cell}}{2F}$$

[0035] 其中, $\dot{m}_{an}(u_c, \Delta p_{hrv}, T_{hrv})$ 为在开度、压力调节阀两端压差、压力调节阀温度分别为 $u_c, \Delta p_{hrv}, T_{hrv}$ 时的压力调节阀的流量, $\lambda_{H_2}$ 为计量比, $n_{cell}$ 为电堆内含有的单体片数, $F$ 为法拉第常数。

[0036] 优选的,所述排氢补偿模块包含使能和不使能两种状态,所述排氢补偿模块使能和不使能两种状态切换的条件为:当排氢电磁阀处于开启状态时,即 $d_p = 1$ ,排氢补偿模块使能;当排氢电磁阀处于关闭状态时,即 $d_p = 0$ ,排氢补偿模块不使能。

[0037] 优选的,所述排氢补偿模块使能状态下,排氢补偿量 $u_p$ 根据环境压力 $p_{en}$ 和氢气低压传感器所采集阳极压力 $p_{an}$ 查找二维表得到。该二维表可在工程实践中基于阳极压力波动要求进行标定,满足如下需求:

$$[0038] \quad \max_t p_{an}(t) - \min_t p_{an}(t) \leq \Delta p_{an}^{req}, t \in X$$

[0039] 该方程表述的是在一段时间 $X$ 内,阳极最大压力 $p_{an}$ 与最小压力之差应小于电堆压力波动需求值 $\Delta p_{an}^{req}$ 。

[0040] 优选的,所述排氢补偿模块不使能状态下,排氢补偿量 $u_p = 0$ 。

[0041] 本发明的有益效果是:

[0042] 1、本发明中的EJM氢气供给模块采用模块化设计，供氢系统零部件及控制器均集成在一个模块中，减少供氢系统零部件、管道、接头连接数量，显著降低了接头连接处氢气泄露风险；

[0043] 2、本发明中各EJM氢气供给模块均通过控制器域网连接燃料电池控制器，可方便集成进行多电堆并联运行和控制，实现多个供氢系统运行调度及故障隔离；即单电堆出现故障后，可控制其安全停机，待故障解除后，即可正常运行，期间其它电堆运行不受故障电堆影响；

[0044] 3、本发明氢气供应系统的EJM氢气供给模块中氢气循环采用引射器方案，无寄生功率损耗，提高了系统的效率；

[0045] 4、本发明多堆燃料电池氢气供应系统的控制方法，可根据燃料电池控制器功率请求，进行电堆模块运行的数量、运行时间、运行频率的调度，提高燃料电池堆运行效率和耐久性；

[0046] 5、本发明多堆燃料电池氢气供应系统整体结构集成紧凑，控制方案可靠，成本低。

## 附图说明

[0047] 图1为本发明多堆燃料电池氢气供应系统的原理图；

[0048] 图2为本发明EJM氢气供应模块原理图；

[0049] 图3为本发明多堆燃料电池氢气供应系统控制方法的原理图。

## 具体实施方式

[0050] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案，下面结合附图和实施方式对本发明创造作进一步的详细说明。

[0051] 如图1所示的一种多堆燃料电池氢气供应系统，包括氢气储存装置1、减压阀组件2、EJM氢气供给模块11和燃料电池电堆12，所述EJM氢气供给模块11的数量和燃料电池电堆12的数量相同且通过管路一一对应连接。所述EJM氢气供给模块11通过管路与减压阀组件2连接，所述减压阀组件2通过管路连接氢气储存装置1，各EJM氢气供给模块11通过控制器域网连接燃料电池控制器18。一个燃料电池电堆12和一个EJM氢气供给模块11形成一个燃料电池控制组，减压阀组件2可同时连接多个燃料电池控制组并给其提供氢气，而燃料电池控制器18可通过控制器域网(Controller Area Network, CAN)同时控制多个EJM氢气供给模块11，进行数据交互。

[0052] 所述EJM氢气供给模块11包括EJM控制器10、与减压阀组件2连接的中压氢气供给口13、与中压氢气供给口13连接的阳极压力调节阀4、与阳极压力调节阀4连接的引射器5以及与引射器5连接的低压氢气出口15。所述中压氢气供给口13与阳极压力调节阀4之间的管路上设置有氢气中压压力传感器3，所述引射器5与低压氢气出口15之间的管路上设置有泄压阀6和氢气低压压力传感器7，所述泄压阀6位于引射器5和氢气低压压力传感器7之间且泄压阀6连接EJM氢气供给模块11上的泄压排放口14。所述引射器5通过管路连接汽水分离器8，所述汽水分离器8通过管路分别连接EJM氢气供给模块11的排氢口17和氢气循环口16，所述排氢口17与汽水分离器8之间的管路上设置有排氢电磁阀9。所述燃料电池电堆12的阳极氢气供给口连接低压氢气出口15，燃料电池电堆12的反应气体出口连接氢气循环口16。

[0053] 所述的EJM氢气供给模块11可以向燃料电池电堆阳极提供电化学反应所需压力和流量的氢气。氢气储存装置1中储存的氢气通过管路进入减压阀组件2减压后,再通过中压氢气供给口13连接到EJM氢气供给模块11,EJM控制器10控制阳极压力调节阀4来调节氢气供应压力和流量,经过压力控制调节后的氢气从低压氢气出口15流出进入燃料电池电堆12的阳极氢气供给口,反应后的阳极气体通过氢气循环口16进入EJM氢气供给模块11中。

[0054] 其中,所述EJM氢气供给模块11采用EJM控制器10控制排氢电磁阀9开启频率和开启时间来实现燃料电池系统排氢和吹扫控制策略,排氢电磁阀9通过排氢口17排放至混合器经与空气混合后最终排放至大气中。所述泄压阀6在燃料电池电堆12运行过程中,若EJM控制器10检测到阳极压力超过泄压阀6泄压设定压力,则泄压阀6自动开启进行泄压,降低阳极压力,当达到泄压阀6回座压力后泄压阀6自动关闭;泄压阀6释放的氢气通过泄压排放口14排入至混合器经与空气混合后最终排放至大气中。

[0055] 所述EJM控制器10分别电性连接氢气中压压力传感器3、阳极压力调节阀4、引射器5、泄压阀6、氢气低压压力传感器7、汽水分离器8和排氢电磁阀9,所述EJM控制器10通过控制器域网连接燃料电池控制器18。所述EJM氢气供给模块11整体为独立集成式模块,内置的EJM控制器10通过CAN通讯方式接收燃料电池控制器18控制指令,同时EJM控制器10也实时上报采集数据信息和自身状态信息,结构集成紧凑,控制方案可靠,成本低。

[0056] 一种多堆燃料电池氢气供应系统的控制方法,包括燃料电池控制器18与EJM氢气供给模块11的控制方法,以及EJM氢气供给模块11的内部控制方法,

[0057] 所述燃料电池控制器18与EJM氢气供给模块11的控制方法包括,各EJM氢气供给模块11内的EJM控制器10通过控制器域网接收燃料电池控制器18的控制指令,同时EJM控制器10也实时上报采集数据信息和自身的状态信息;

[0058] 所述EJM氢气供给模块11的内部控制方法包括以下步骤,

[0059] 1) 根据工况需求,燃料电池控制器18向各个EJM氢气供给模块11输出压力目标  $p_{an}^{set}$ ,利用EJM控制器10内的过渡模块19对目标阳极压力  $p_{an}^{set}$  进行滤波,得到参考压力  $p_{an}^{ref}$ ;

[0060] 2) 根据参考压力  $p_{an}^{ref}$  和氢气低压传感器7采集的实际反馈阳极压力  $p_{an}$  之差,经过EJM控制器10内的PID控制模块20计算,得到反馈控制量  $u_b$ ;

[0061] 3) 根据需求电流  $i$ ,通过EJM控制器10内的电流补偿模块21查表得到电流前馈控制量  $u_c$ ,其表格根据具体系统的阳极压力上升速率和电堆氢气消耗量需求进行标定;

[0062] 4) 根据电堆操作要求,按照一定的开启频率和开启时间,EJM控制器10向排氢电磁阀9输出排氢命令  $d_p$ ;

$$[0063] \quad d_p = \begin{cases} 1, & \text{排氢阀开启} \\ 0, & \text{排氢阀关闭} \end{cases};$$

[0064] 5) 根据排氢命令  $d_p$ ,测得的环境压力  $p_{en}$  及阳极压力  $p_{an}$ ,通过排氢补偿模块22得到排氢补偿量  $u_p$ ;

[0065] 6) 将反馈控制量  $u_b$ 、电流前馈控制量  $u_c$  及排氢补偿量  $u_p$  相加,得到压力调节阀开度  $u$ ;

$$[0066] \quad u = u_b + u_c + u_p;$$

[0067] 7) EJM控制器(10)计算压力调节阀开度  $u$ ,并向压力调节阀(4)下发该指令,控制其

开度。

[0068] 所述过渡模块19采用的微分方程如下，

$$[0069] \quad \dot{p}_{an}^{ref} = \frac{1}{T} (p_{an}^{ref} - p_{an}^{set})$$

[0070] 其中， $p_{an}^{ref}$ 为参考压力； $\dot{p}_{an}^{ref}$ 为参考压力对时间的导数； $p_{an}^{set}$ 为设定阳极压力；T为时间常数。

[0071] 所述PID模块20采用的方程如下，

$$[0072] \quad u_b(t) = k_p e_p(t) + k_i \int_0^t e_p(\tau) d\tau + k_d \frac{de_p(t)}{dt}$$

[0073] 其中 $u_b$ 为反馈控制量， $e_p$ 为参考阳极压力 $p_{an}^{ref}$ 与实际阳极压力 $p_{an}$ 之差， $k_p$ 为比例控制参数， $k_i$ 为积分控制参数， $k_d$ 为微分控制参数。

[0074] 所述电流补偿模块21为电流i到阳极压力调节阀4开度的前馈表格，基于阳极压力上升速率及电堆电流消耗等操作要求按照工程实践进行标定，且应满足如下要求：

$$[0075] \quad \dot{m}_{an}(u_c, \Delta p_{hrv}, T_{hrv}) \geq \lambda_{H_2} \frac{i \times n_{cell}}{2F}$$

[0076] 其中， $\dot{m}_{an}(u_c, \Delta p_{hrv}, T_{hrv})$ 为在开度、压力调节阀4两端压差、压力调节阀4温度分别为 $u_c$ ， $\Delta p_{hrv}$ ， $T_{hrv}$ 时的压力调节阀4的流量， $\lambda_{H_2}$ 为计量比， $n_{cell}$ 为电堆内含有的单体片数，F为法拉第常数。

[0077] 所述排氢补偿模块22包含使能和不使能两种状态，所述排氢补偿模块22使能和不使能两种状态切换的条件为：当排氢电磁阀9处于开启状态时，即 $d_p = 1$ ，排氢补偿模块22使能；当排氢电磁阀9处于关闭状态时，即 $d_p = 0$ ，排氢补偿模块22不使能。

[0078] 所述排氢补偿模块22使能状态下，排氢补偿量 $u_p$ 根据环境压力 $p_{en}$ 和氢气低压传感器7所采集阳极压力 $p_{an}$ 查找二维表得到。该二维表可在工程实践中基于阳极压力波动要求进行标定，满足如下需求：

$$[0079] \quad \max_t p_{an}(t) - \min_t p_{an}(t) \leq \Delta p_{an}^{req}, t \in X$$

[0080] 该方程表述的是在一段时间X内，阳极最大压力 $p_{an}$ 与最小压力之差应小于电堆压力波动需求值 $\Delta p_{an}^{req}$ 。

[0081] 所述排氢补偿模块22不使能状态下，排氢补偿量 $u_p = 0$ 。

[0082] 以上所述，仅为本发明较佳的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变，都应涵盖在本发明的保护范围之内。

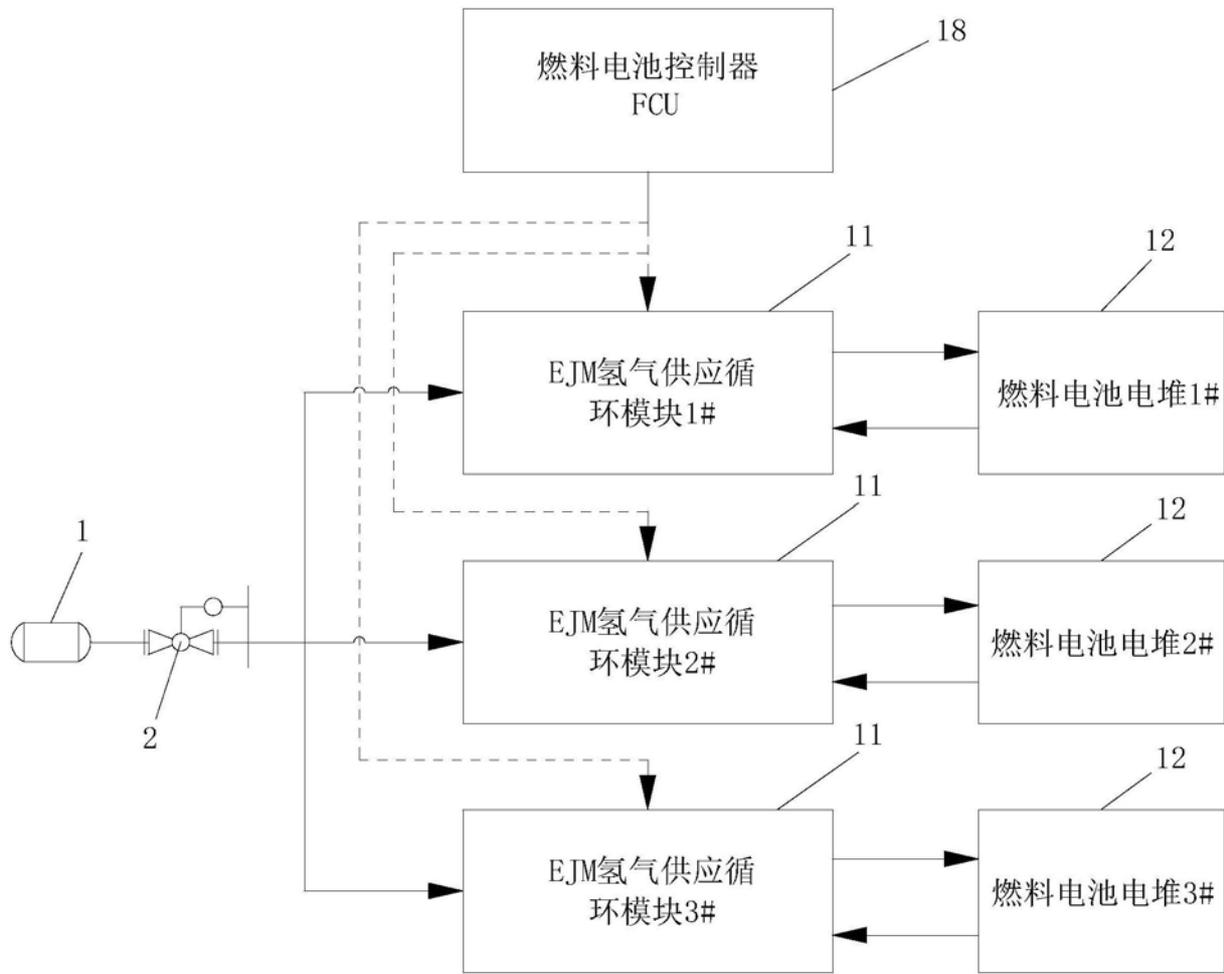


图1

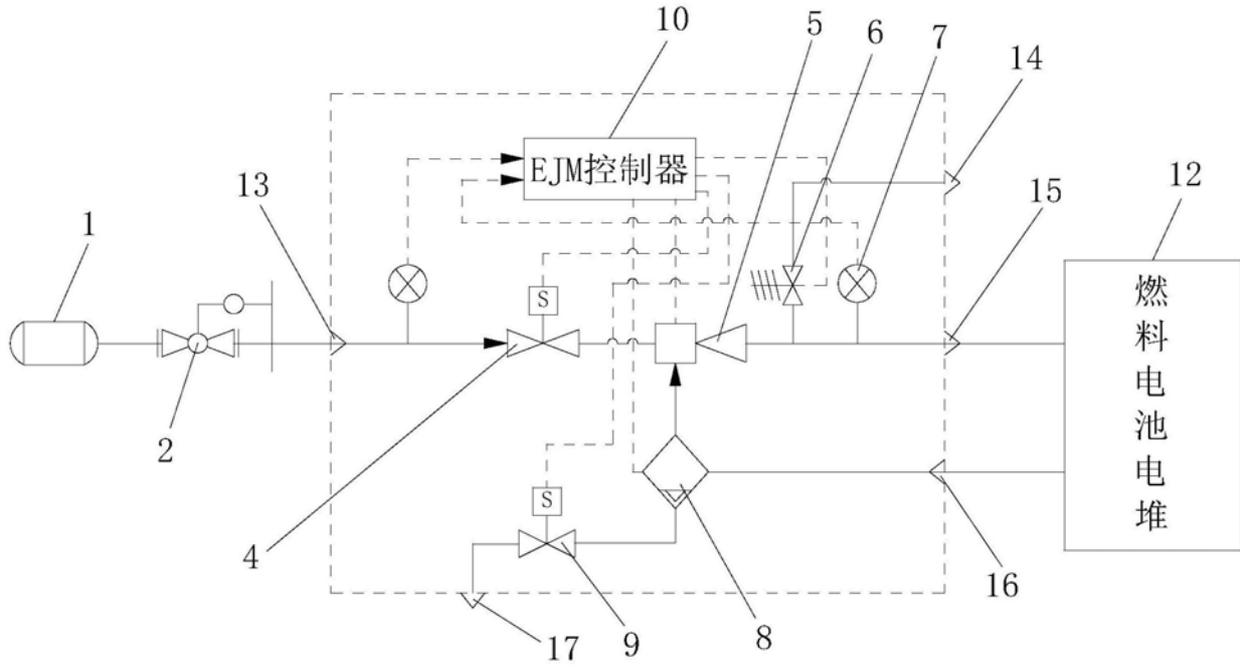


图2

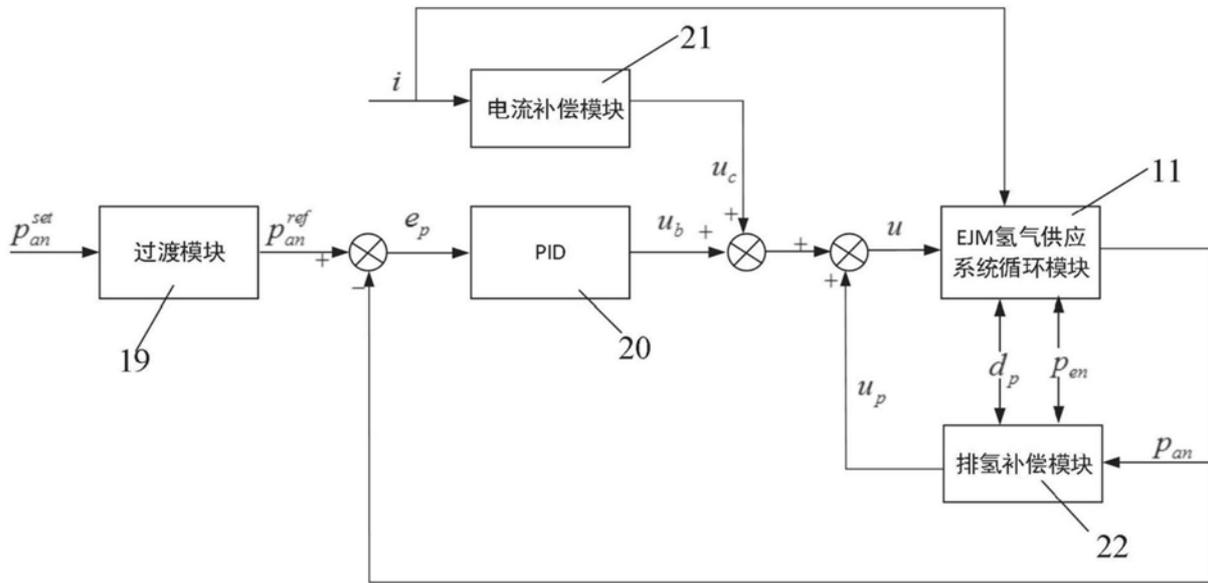


图3