



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112909299 B

(45) 授权公告日 2022. 05. 03

(21) 申请号 202110036917.7

H01M 8/04537 (2016.01)

(22) 申请日 2021.01.12

H01M 8/04746 (2016.01)

H01M 8/04992 (2016.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112909299 A

审查员 武建鑫

(43) 申请公布日 2021.06.04

(73) 专利权人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)

西源大道2006号

(72) 发明人 高艳 赵英昊 汤浩 殷聪 李凯

(74) 专利代理机构 电子科技大学专利中心

51203

代理人 吴姗霖

(51) Int. Cl.

H01M 8/04089 (2016.01)

H01M 8/0438 (2016.01)

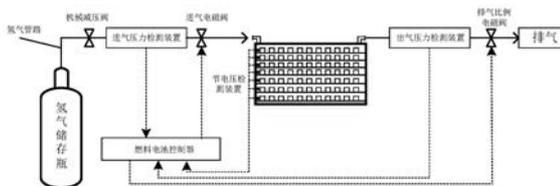
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种空冷燃料电池氢气供给系统及控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种空冷燃料电池氢气供给系统及控制方法,属于新能源发电技术领域,氢气供给系统包括氢气储存瓶、氢气管路、机械减压阀、进气阀、排气比例电磁阀、燃料电池控制器、进气压力检测装置、出气压力检测装置和节电压检测装置;控制方法为:打开机械减压阀、进气阀,关闭排气比例电磁阀,电池开始输出电能,当平均节电压下降到 U_1 时,控制排气比例电磁阀的入口压力为 P_B 或将排气比例电磁阀开启到开度 τ_1 ,当平均节电压恢复到 U_2 时,控制入口压力 P 逐渐增大至 P_A 或控制开度 τ 逐渐减小至0,在电池工作过程中不断重复上述过程,实现对空冷燃料电池电堆内部多余氢气的智能排放,提高电池工作性能和氢气利用率。



1. 一种空冷燃料电池氢气供给系统的控制方法,其特征在于,所述空冷燃料电池氢气供给系统包括氢气储存瓶、氢气管路、机械减压阀、进气阀和排气比例电磁阀,所述氢气储存瓶通过依次设有机械减压阀和进气阀的氢气管路连接空冷燃料电池电堆的进气端,排气比例电磁阀连接空冷燃料电池电堆的排气端;所述空冷燃料电池氢气供给系统还包括燃料电池控制器,位于机械减压阀和进气阀之间的进气压力检测装置,位于空冷燃料电池电堆和排气比例电磁阀之间的出气压力检测装置,和设置于空冷燃料电池电堆中各电池单元上的节电压检测装置;

所述控制方法包括以下步骤:

步骤1:打开机械减压阀,将氢气的进气压力调节至 $10\sim 30\text{kPa}$,之后打开进气阀与排气比例电磁阀,待空冷燃料电池电堆的平均节电压稳定后关闭排气比例电磁阀,此时排气比例电磁阀的入口压力为 P_A ,开度为0;其中, P_A 与氢气的进气压力相同;

步骤2:空冷燃料电池开始工作,并在额定输出工况下输出电能;

步骤3:通过节电压检测装置监测空冷燃料电池电堆的平均节电压,当平均节电压下降到设定值 U_1 时,燃料电池控制器控制排气比例电磁阀的入口压力为 P_B ,或将排气比例电磁阀开启到开度 τ_1 ;其中,设定值 U_1 为空冷燃料电池电堆在额定输出工况下的平均节电压的 $80\sim 95\%$, P_B 为 P_A 的 $70\sim 90\%$, τ_1 为 $30\sim 50\%$;

步骤4:当空冷燃料电池电堆的平均节电压恢复到设定值 U_2 时,燃料电池控制器控制排气比例电磁阀的入口压力 P 逐渐增大至 P_A ,或控制排气比例电磁阀的开度 τ 逐渐减小至0;其中,设定值 U_2 为 $1.02\sim 1.2$ 倍的 U_1 ;

步骤5:在空冷燃料电池的工作过程中不断重复上述步骤3~4;

步骤6:当空冷燃料电池停止工作时,依次关闭机械减压阀、进气阀,并打开排气比例电磁阀。

一种空冷燃料电池氢气供给系统及控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于新能源发电技术领域,具体涉及一种空冷燃料电池氢气供给系统及控制方法。

背景技术

[0002] 质子交换膜燃料电池具有能量密度大、能量转换效率高、排放零污染等优点,是人类面对能源危机时的一个优良选择,具有广阔的发展前景。其中,空冷燃料电池省去了用于冷却液循环和外增湿的设备,在降低整个系统重量的同时降低系统在系统辅助部件(Bop)上的能量损耗,从而具有更高的能效,因此空冷燃料电池在无人机、小型轻量电源系统等领域具有较大的优势。

[0003] 空冷燃料电池的使用场景多为小型电源系统,电源系统所携带的氢气量有限且氢气价格较高,所以一般情况下空冷燃料电池会在排气阀关闭的死端供气模式下工作,但空冷燃料电池工作时产生的废气和多余的水会聚积在其阳极侧(即氢气侧),将大幅降低空冷燃料电池的工作性能及使用寿命,因此需要在某些时刻打开排气阀,以排除燃料电池内部多余的水和氮气。但是空冷燃料电池内部的水含量受外界环境条件影响较大,在不同的工作环境、相同的工况下,其阳极侧内部的水积累情况(即湿度)是不同的,而湿度是影响空冷燃料电池工作性能的一个重要因素,一般通过空冷燃料电池的输出电压来判断其是否工作在合适的工作条件下。

[0004] 现有的空冷燃料电池排气策略为固定排气周期和时长,是否排气主要是通过一个只有全开或全关两种工作模式的排气电磁阀进行控制,即空冷燃料电池大多数时间工作在排气电磁阀全关的死端供气模式下,在工作一段时间后使排气电磁阀全开进行排气,排气电磁阀全开一段时间之后再关闭排气电磁阀,并在空冷燃料电池工作过程中始终重复上述过程。但这种固定排气周期和时长的方式会造成诸多的问题,如图1所示,当排气电磁阀全开时,空冷燃料电池内部阳极侧压力会大幅下降,而当排气电磁阀全关时,其内部阳极侧压力会有一个快速的上升和一个明显的压力过冲,这样剧烈的压力变化会对空冷燃料电池的工作性能及使用寿命产生较大的负面影响。

[0005] 如图2所示,造成明显压力过冲的直接原因是因为当排气电磁阀由全开状态转变为全关状态后,其进气流量没有立即变为死端供气模式时电堆所需的氢气流量,而是需要一段时间由流通供气模式时较高的流量值下降到死端供气模式时较低的流量值。这是由于一般空冷燃料电池的应用场所多为无人机等小型电源系统上,而这类电源系统对供电系统的重量约束具有较高要求,故其减压装置多采用结构简单、重量轻的机械减压阀。机械减压阀的调整具有明显的滞后性,因此使用机械减压阀就会造成减压阀开度调整不及时的情况,导致过多的氢气进入到空冷燃料电池的阳极侧,阳极侧过多的氢气累积造成了电堆内部压力在排气电磁阀关闭后产生明显的压力过冲这一现象。因此需要提出一种可以自动适应外界环境改变的动态排气策略,使空冷燃料电池可以工作在较为合适的内部环境下,有利于提升空冷燃料电池的工作性能及其使用寿命。

发明内容

[0006] 本发明针对上述现有技术中排气方式不合理的问题,提出了一种空冷燃料电池氢气供给系统及控制方法,可智能的自行动态调节排气周期、时间以及电堆内部压力变化。

[0007] 本发明所采用的技术方案如下:

[0008] 一种空冷燃料电池氢气供给系统,包括氢气储存瓶、氢气管路、机械减压阀、进气阀和排气阀,所述氢气储存瓶通过依次设有机械减压阀和进气阀的氢气管路连接空冷燃料电池电堆的进气端,排气阀连接空冷燃料电池电堆的排气端;其特征在于,所述排气阀为排气比例电磁阀,所述空冷燃料电池氢气供给系统还包括燃料电池控制器,位于机械减压阀和进气阀之间的进气压力检测装置,位于空冷燃料电池电堆和排气阀之间的出气压力检测装置,和设置于空冷燃料电池电堆中各电池单元上的节电压检测装置,所述燃料电池控制器根据接收的进气压力检测装置和节电压检测装置的检测信号,控制排气阀的入口压力或/和开度。

[0009] 进一步地,所述进气阀为进气电磁阀,并通过所述燃料电池控制器控制进气电磁阀的开、闭。

[0010] 一种空冷燃料电池氢气供给系统的控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0011] 步骤1:打开机械减压阀,将氢气的进气压力调节至 $10\sim 30\text{kPa}$,之后打开进气阀与排气比例电磁阀,待空冷燃料电池电堆的平均节电压稳定后关闭排气比例电磁阀,此时排气比例电磁阀的入口压力为 P_A ,开度为0;其中, P_A 与氢气的进气压力相同;

[0012] 步骤2:空冷燃料电池开始工作,并在额定输出工况下输出电能;

[0013] 步骤3:通过节电压检测装置监测空冷燃料电池电堆的平均节电压,当平均节电压下降到设定值 U_1 时,燃料电池控制器控制排气比例电磁阀的入口压力为 P_B ,或将排气比例电磁阀开启到开度 τ_1 ,以排除尾气,提升空冷燃料电池的工作性能;其中,设定值 U_1 为空冷燃料电池电堆在额定输出工况下的平均节电压的 $80\sim 95\%$, P_B 为 P_A 的 $70\sim 90\%$, τ_1 为 $30\sim 50\%$;

[0014] 步骤4:当节电压检测装置检测的平均节电压恢复到设定值 U_2 时,燃料电池控制器控制排气比例电磁阀的入口压力 P 逐渐增大至 P_A ,或控制排气比例电磁阀的开度 τ 逐渐减小至0;其中,设定值 U_2 为 $1.02\sim 1.2$ 倍的 U_1 ;

[0015] 步骤5:在空冷燃料电池的工作过程中不断重复上述步骤3~4;

[0016] 步骤6:当空冷燃料电池停止工作时,依次关闭减压阀、进气阀,并打开排气比例电磁阀。

[0017] 进一步地,步骤4中排气比例电磁阀的入口压力 P 按照随时间变化的函数 $P=f(t)$ 逐渐增大至 P_A ,排气比例电磁阀开启的开度 τ 按照随时间变化的函数 $\tau=v(t)$ 逐渐减小至0;函数 $P=f(t)$ 和 $\tau=v(t)$ 具体通过下述方式获得:

[0018] 首先,根据空冷燃料电池的电堆结构,通过监测氢气流量的变化,计算得到排气比例电磁阀从开启状态变为关闭状态时空冷燃料电池电堆内部多余的氢气量 V_1 ;其次,通过监测比例电磁阀的入口压力 P 或开度 τ 的变化,计算排气比例电磁阀从开始关闭到完全关闭的时间段内空冷燃料电池电堆排出的总氢气量 V_2 ;当 $V_1\leq V_2$ 时,即可求得排气比例电磁阀的入口压力 P 为随时间变化的函数 $P=f(t)$,排气比例电磁阀开启的开度 τ 为随时间变化的函数 $\tau=v(t)$ 。

[0019] 进一步地,通过监测氢气流量的变化,计算排气比例电磁阀从开启状态变为关闭

状态时空冷燃料电池电堆内部多余的氢气量 V_1 的具体方法为:在进气阀处加装一个流量计(MFC),设当排气比例电磁阀为开启状态,且空冷燃料电池电堆稳定工作在步骤2所述额定输出工况下的输出电流时的氢气流量为 Q_1 ,当排气比例电磁阀为关闭状态,且空冷燃料电池电堆的内部压力稳定时的氢气流量为 Q_2 ,空冷燃料电池的电堆结构决定氢气流量随时间变化的函数为 $k(t)$,设氢气流量从 Q_1 变为 Q_2 所需的时间为 T_1 ,可得 T_1 内进入空冷燃料电池电堆内部多余的氢气量 V_1 为: $V_1 = \int_0^{T_1} k(t)dt - Q_2t$ 。

[0020] 进一步地,通过监测比例电磁阀的入口压力 P 的变化,计算排气比例电磁阀从开始关闭到完全关闭的时间 T_2 内排出的总氢气量 V_2 的具体方法为:查表可知流量 S 和入口压力 P 之间的函数关系为 $S=g(P)$,设入口压力 P 随时间变化的函数为 $P=f(t)$,进而得到排气比例电磁阀从开始关闭到完全关闭的时间 T_2 内排出的总氢气量 V_2 为: $V_2 = \int_0^{T_2} g(f(t))dt$ 。

[0021] 进一步地,通过监测比例电磁阀开度 τ 的变化,计算排气比例电磁阀从开始关闭到完全关闭的时间 T_2 内排出的总氢气量 V_2 的具体方法为:查表可知流量 S 和开度 τ 之间的函数关系为 $S=m(\tau)$,设开度 τ 随时间变化的函数为 $\tau=v(t)$,进而得到排气比例电磁阀从开始关闭到完全关闭的时间 T_2 内排出的总氢气量 V_2 为: $V_2 = \int_0^{T_2} m(v(t))dt$ 。

[0022] 为了提升空冷燃料电池的工作性能及其使用寿命,要求 $V_1 \leq V_2$,由于当排气比例电磁阀从开启状态变为关闭状态时空冷燃料电池电堆内部多余的氢气量 V_1 为一个定值,与空冷燃料电池的电堆结构有关,并且流量 S 和入口压力 P 之间的函数关系 $S=g(P)$ 、流量 S 和开度 τ 之间的函数关系 $S=m(\tau)$ 也可通过查表确定,进而求得排气比例电磁阀的入口压力 P 为随时间变化的函数 $P=f(t)$,排气比例电磁阀开启的开度 τ 为随时间变化的函数 $\tau=v(t)$ 。

[0023] 本发明的有益效果为:

[0024] 1、本发明提出一种空冷燃料电池氢气供给系统及控制方法,通过监测空冷燃料电池电堆的平均节电压,判断空冷燃料电池电堆的工作状况,进而决定是否进行排气,并通过智能化的排气方式,使空冷燃料电池始终工作在合适的湿度条件下,有助于提高空冷燃料电池的工作性能和氢气利用率;

[0025] 2、本发明根据空冷燃料电池的电堆结构和所采用的排气比例电磁阀计算得到排气比例电磁阀的入口压力和开度随时间变化的函数,通过控制排气比例电磁阀的入口压力按照随时间变化的函数逐渐增大,或控制开度按照随时间变化的函数逐渐减小至0,实现对空冷燃料电池电堆内部多余氢气的智能排放;相比于传统的排气方式,本发明所得空冷燃料电池氢气供给系统降低空冷燃料电池在排气阀开启和关闭时内部的压力差,提高空冷燃料电池的使用寿命;

[0026] 3、相比于传统采用的排气电磁阀,本发明所采用排气比例电磁阀可以实现更加高效的排放;

[0027] 4、应用本发明所得氢气供给系统的空冷燃料电池可以更加灵活高效的工作在多种环境下,扩大了空冷燃料电池的使用场所数量,控制方法实施过程简单高效。

附图说明

[0028] 图1为现有技术中采用固定排气周期和时长的方式进行排气时,空冷燃料电池内

部的压力过冲情况示意图；

[0029] 图2为现有技术中采用固定排气周期和时长的方式进行排气时，排气阀由全开状态转变为全关状态时的氢气流量变化示意图；

[0030] 图3为本发明实施例1所得空冷燃料电池氢气供给系统的结构框图；

[0031] 图4为本发明实施例1所得空冷燃料电池氢气供给系统的控制方法的流程框图；

[0032] 图5为本发明实施例1所得空冷燃料电池氢气供给系统中平均节电压与排气比例电磁阀开关状态之间的关系示意图；

[0033] 图6为本发明实施例1所得空冷燃料电池氢气供给系统中排气比例电磁阀的入口压力随平均节电压变化的曲线图；

[0034] 图7为本发明实施例1所得空冷燃料电池氢气供给系统中排气比例电磁阀的开度随平均节电压变化的曲线图。

具体实施方式

[0035] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清晰，结合以下具体实施例，并参照附图，对本发明做进一步的说明。

[0036] 实施例1：

[0037] 本实施例提出了一种空冷燃料电池氢气供给系统，如图3所示，包括氢气储存瓶、氢气管路、机械减压阀、进气电磁阀、排气比例电磁阀、燃料电池控制器、进气压力检测装置、出气压力检测装置和节电压检测装置；所述氢气储存瓶通过依次设有机械减压阀、进气压力检测装置和进气电磁阀的氢气管路连接空冷燃料电池电堆的进气端，空冷燃料电池电堆的排气端经出气压力检测装置、排气比例电磁阀排气，所述节电压检测装置设置于空冷燃料电池电堆中各电池单元上，所述燃料电池控制器根据接收进气压力检测装置、出气压力检测装置和节电压检测装置的检测信号，控制进气电磁阀的开、闭，排气比例电磁阀的入口压力和开度。

[0038] 本实施例还提出了一种空冷燃料电池氢气供给系统的控制方法，如图4所示，包括以下步骤：

[0039] 步骤1：打开机械减压阀，将氢气的进气压力调节至30kPa，燃料电池控制器根据进气压力检测装置检测的氢气进气压力，控制打开进气电磁阀与排气比例电磁阀，待节电压检测装置检测的空冷燃料电池电堆的平均节电压稳定后，燃料电池控制器控制关闭排气比例电磁阀，此时排气比例电磁阀的入口压力为 $P_A = 30\text{kPa}$ ，开度为0；

[0040] 步骤2：空冷燃料电池开始工作，并在额定输出工况下输出电能，输出电流为20A；

[0041] 步骤3：空冷燃料电池氢气供给系统的节电压检测装置监测空冷燃料电池电堆的平均节电压，如图5、7所示，当平均节电压下降到设定值 $U_1 = 0.67\text{V}$ 时，燃料电池控制器将排气比例电磁阀开启到开度 $\tau_1 = 30\%$ ，以排除尾气，提升空冷燃料电池的工作性能；

[0042] 步骤4：如图5、6所示，当空冷燃料电池电堆的平均节电压恢复到设定值 $U_2 = 0.7\text{V}$ 时，燃料电池控制器控制排气比例电磁阀的入口压力按照随时间变化的函数 $P = f(t)$ 逐渐增大至 $P_A = 30\text{kPa}$ ，此时排气比例电磁阀处于关闭状态；

[0043] 所述函数 $P = f(t)$ 通过下述方式获得：

[0044] 首先，计算当排气比例电磁阀从开启状态变为关闭状态时空冷燃料电池电堆内部

多余的氢气量 V_1 ,在进气阀处加装一个流量计(MFC),通过监测氢气流量的变化计算多余的氢气量 V_1 ;当排气比例电磁阀为开启状态,且空冷燃料电池电堆稳定工作在步骤2所述额定输出工况下的输出电流时的氢气流量为 Q_1 ,即在流通供气时氢气的流量,当排气比例电磁阀为关闭状态,且空冷燃料电池电堆的内部压力稳定时的氢气流量为 Q_2 ,即死端供气时氢气的流量;由图2可知,氢气的流量变化近似于线性,氢气流量从 $Q_1=42.5 \text{ L/min}=\frac{17}{24} \text{ L/s}$ 下降到 $Q_2=10 \text{ L/min}=\frac{1}{6} \text{ L/s}$ 用时 $T_1=0.5 \text{ s}$,则氢气流量在这段时间内随时间变化的函数为

$Q = -\frac{13}{12}t + \frac{17}{24}$,进而计算得到0.5s内进入空冷燃料电池电堆内部多余的氢气量

$$V_1 = \int_0^{0.5} \left(-\frac{13}{12}t + \frac{17}{24} \right) dt - \frac{1}{6} * 0.5 = 0.135。$$

[0045] 其次,通过监测比例电磁阀入口压力的变化来计算排气比例电磁阀从开始关闭到完全关闭的时间 T_2 内排出的总氢气量 V_2 ;根据所采用的排气比例电磁阀的说明书,可知流量 S 和入口压力 P 之间的函数关系为 $S = \frac{257Pk_v}{\sqrt{T\rho}}$,其中, $k_v=0.0232r^2-0.007r+0.0101$,由于所述排气比例电磁阀的内孔径为1.6mm,可得 $k_v=0.055$, $T=20^\circ\text{C}$, ρ 为通过排气比例电磁阀的氢气密度, $\rho=0.09\text{g/L}$;进而计算得到 $S=g(P)=3.3317P$;

[0046] 设入口压力 P 随时间变化的函数为 $P=f(t)=at$,排气比例电磁阀从开始关闭到完全关闭的时间 $T_2=0.5 \text{ s}$,要求 $V_1=V_2=0.135 \text{ L}$,所述排气比例电磁阀从开始关闭到完全关闭的时间内排出的总氢气量 $V_2 = \int_0^{T_2} g(f(t))dt = \int_0^{0.5} 3.3317at dt = 0.135 \text{ L}$,解得 $a = 0.32416$,进而得到排气比例电磁阀的入口压力按照随时间变化的函数为 $P=f(t)=at=0.32416t$;

[0047] 步骤5:在空冷燃料电池的工作过程中不断重复上述步骤3~4;

[0048] 步骤6:当空冷燃料电池停止工作时,关闭减压阀,燃料电池控制器控制关闭进气电磁阀,并打开排气比例电磁阀。

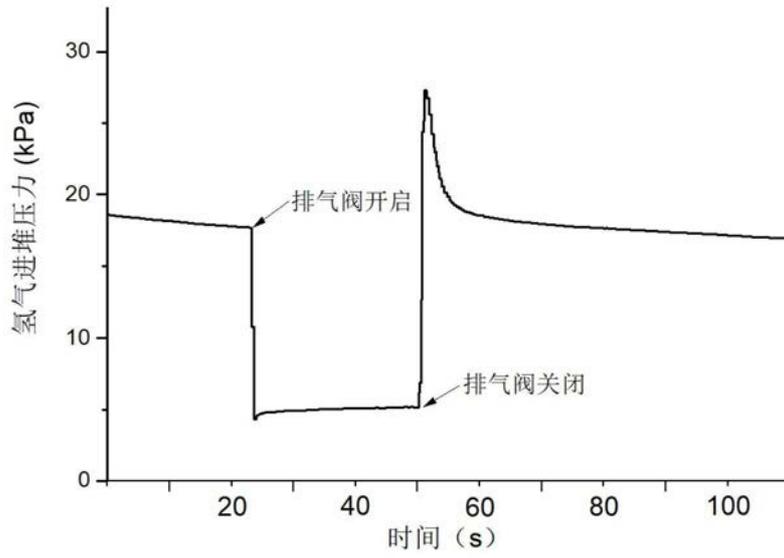


图1

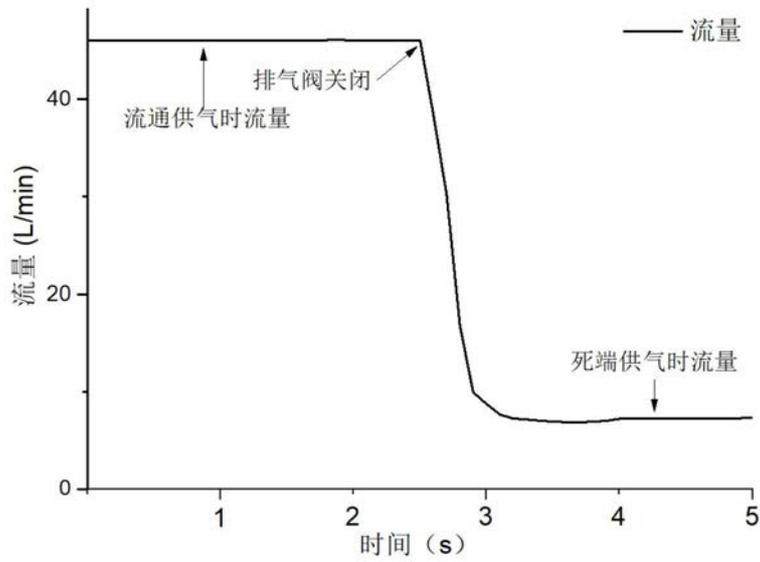


图2

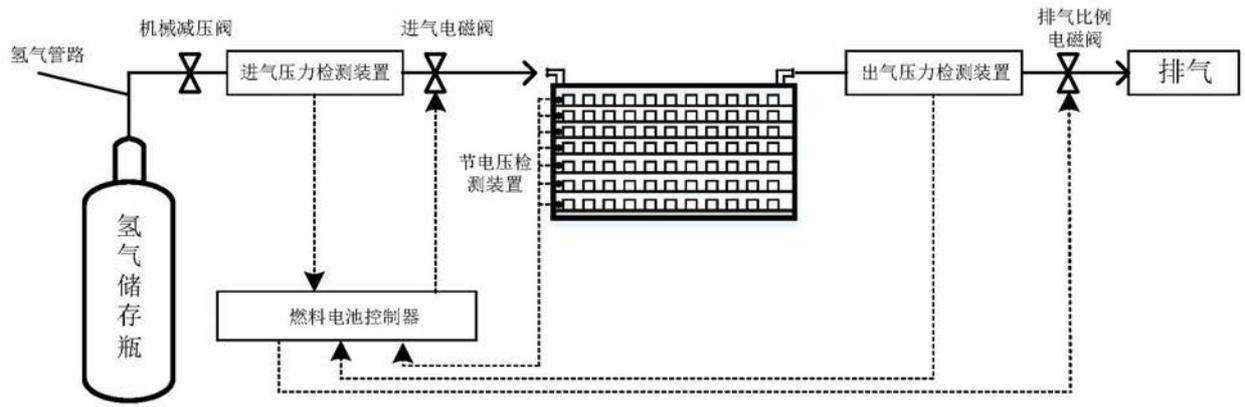


图3

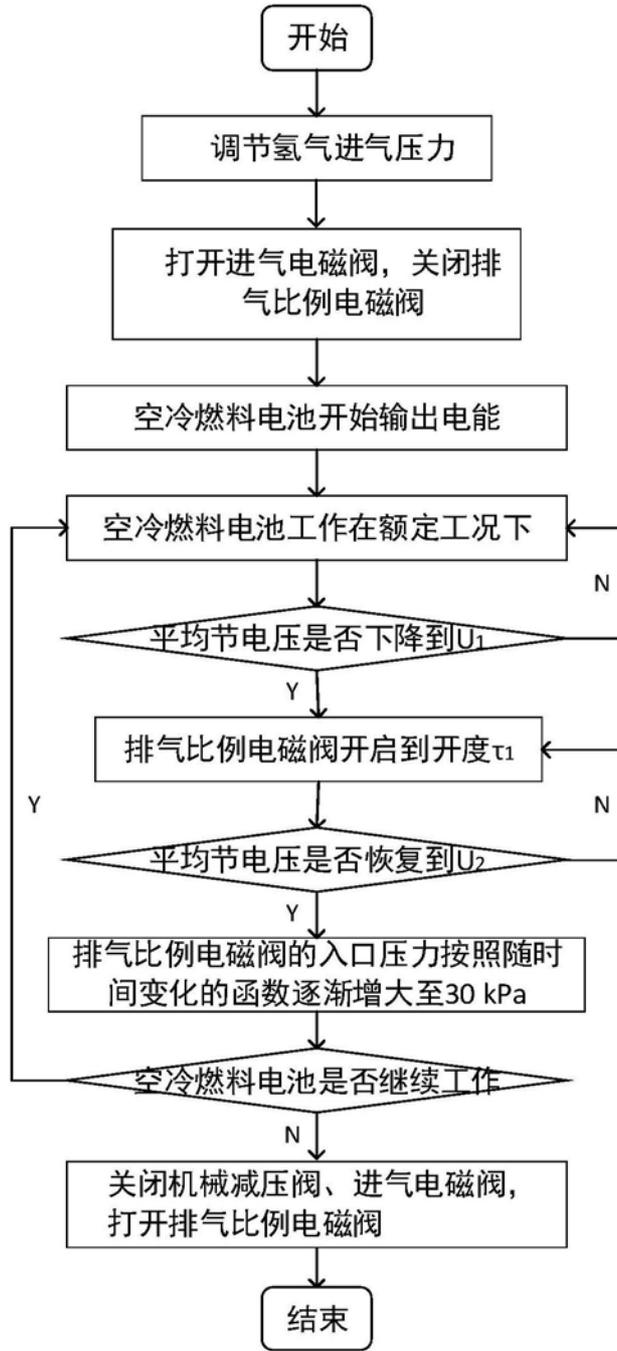


图4

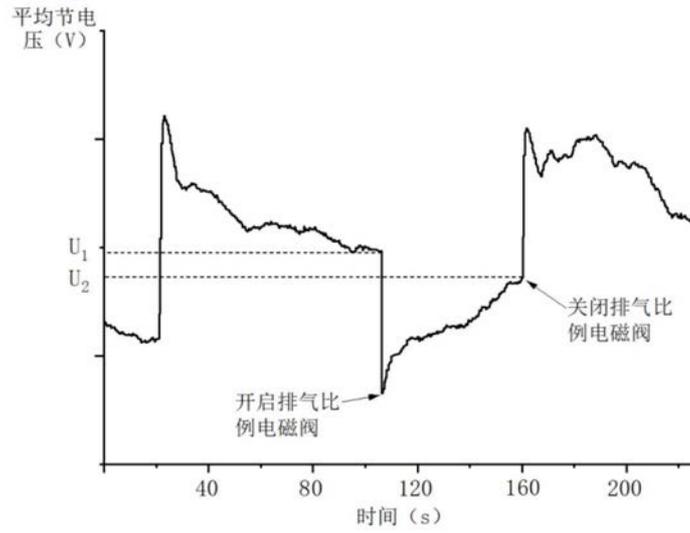


图5

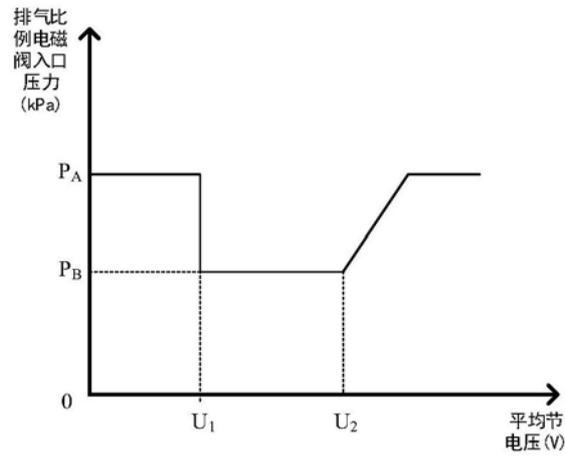


图6

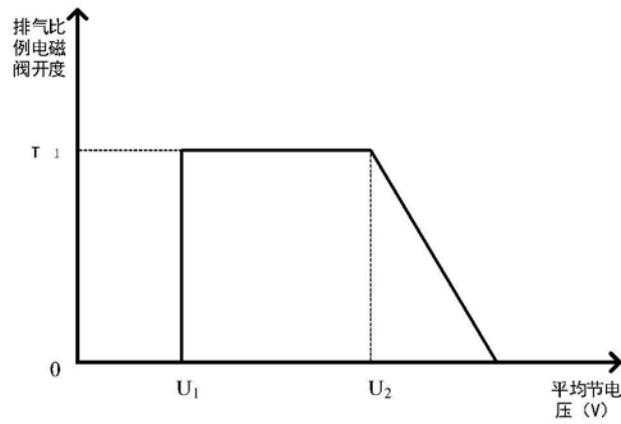


图7