

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01M 8/04 (2006.01)

H01M 8/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710136852.3

[45] 授权公告日 2010 年 1 月 27 日

[11] 授权公告号 CN 100585930C

[22] 申请日 2007.7.17

[21] 申请号 200710136852.3

[30] 优先权

[32] 2006.7.17 [33] US [31] 11/457880

[73] 专利权人 通用汽车环球科技运作公司

地址 美国密执安州

[72] 发明人 V·W·罗甘

[56] 参考文献

CN1561556A 2005.1.5

CN1685552A 2005.10.19

CN1620733A 2005.5.25

WO2005/104284A1 2005.11.3

US6558827B1 2003.5.6

审查员 崔琳

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 温大鹏 刘华联

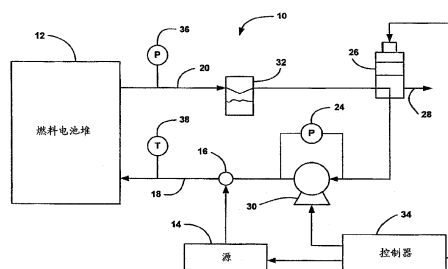
权利要求书 4 页 说明书 9 页 附图 3 页

[54] 发明名称

燃料电池阳极化学计量控制

[57] 摘要

一种用于控制燃料电池系统的阳极排气泄放阀的系统和方法，所述方法包括估算所述阳极排气中的气体成分、利用逆阀模型计算所需的阀流量系数，并且以导致产生所述所需的阀流量系数的流速泄放所述阳极排气。所述方法包括确定所述阳极排气中氮的分压，并且利用氮的所述分压计算所述阳极排出物中氮的流速。所述方法还包括计算所述阳极排气中水蒸气和氢的分压，并利用所述氮、所述水蒸气和所述氢的所述分压计算再循环气体中所述氮、水蒸气和氢的气体摩尔分数。所述方法还包括利用所述阳极排气中氮、水蒸气和氢的所述气体摩尔分数确定所需的阀流量系数，并利用所述所需的阀流量系数确定何时打开和关闭所述泄放阀。



1、一种用于控制泄放阀的方法，所述泄放阀用于从燃料电池系统的燃料电池堆中泄放出阳极排气，所述方法包括以下步骤：

确定所述阳极排气中氮的分压；

计算所述阳极排气中水蒸气和氢的分压；

利用所述氮、所述水蒸气和所述氢的所述分压计算所述阳极排气中所述氮、所述水蒸气和所述氢的气体摩尔分数；

利用所述阳极排气中所述氮、水蒸气和氢的所述气体摩尔分数计算所需的阀流量系数；和

利用所述所需的阀流量系数确定何时打开和关闭所述泄放阀；

其中计算所述所需的阀流量系数的步骤包括利用所述气体摩尔分数和逆阀模型，所述逆阀模型的方程式为：

$$Q = 1360 F_p C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x}{S_g T_1 Z}}$$

其中 Q 是流量、 F_p 是管道系数、 C_v 是阀流量系数、 P_1 是上游压力、Y 是膨胀系数、x 是压力降的比率、 S_g 是通过所述泄放阀的气体的比重、 T_1 是气体温度且 Z 是压缩系数。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其中利用所述逆阀模型的步骤包括利用一个用于亚临界流的逆模型和一个用于临界流的逆阀模型，其中方程式：

$$Q = 1360 C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x}{S_g T}}$$

被用于所述亚临界流，且方程式：

$$Q = 1360 C_v P_1 \frac{2}{3} \sqrt{\frac{x_t}{S_g T}}$$

被用于所述临界流，其中 Q 是流量、 C_v 是阀流量系数、 P_1 是上游压力、Y 是膨胀系数、x 是压力降的比率、 x_t 是端压力降的比率、 S_g 是通过所述泄放阀的气体的比重且 T 是气体温度。

3、根据权利要求 1 所述的方法，进一步包括计算氮进入所述阳极排气内的流速，并对所述氮的所述流速进行积分以更新所述氮的所述分压。

4、根据权利要求 3 所述的方法，其中确定氮进入所述阳极排气内

的所述流速的步骤包括利用方程式:

$$V_{N_2} = \frac{P_{N_2} A \Delta P_{N_2}}{t}$$

其中 V_{N_2} 是氮进入所述阳极排气内的体积流量、 P_{N_2} 是渗透率系数、 A 是膜的面积、 ΔP_{N_2} 是透过所述膜的氮分压差且 t 是所述膜的厚度。

5、根据权利要求 1 所述的方法，其中计算水蒸气和氢的所述分压的步骤包括假设所述阳极排气具有 100% 的相对湿度以确定所述水蒸气的所述分压，和利用所述氮和所述水蒸气的所述分压确定所述氢的所述分压，其中所述氮、所述水蒸气和所述氢的所述分压的组合是所述阳极排气中总的静压力。

6、根据权利要求 1 所述的方法，其中所述泄放阀是具有已公知的完全阀流量系数的脉冲宽度调制的电磁阀，且所述电磁阀的占空因数是所述所需的阀流量系数与所述完全阀流量系数的比率。

7、根据权利要求 1 所述的方法，其中所述燃料电池系统位于车辆上。

8、一种燃料电池系统，所述燃料电池系统包括：

包括阳极输入装置和阳极输出装置的燃料电池堆；

用于从所述阳极输出装置周期性地泄放阳极排气的泄放阀；和

用于控制所述泄放阀的控制器，所述控制器确定所述阳极排气中氮的所述分压、计算所述阳极排气中水蒸气和氢的分压、利用所述氮、所述水蒸气和所述氢的所述分压计算所述阳极排气中所述氮、所述水蒸气和所述氢的气体摩尔分数、利用所述阳极排气中所述氮、水蒸气和氢的所述气体摩尔分数确定所需的阀流量系数以及利用所述所需的阀流量系数确定何时打开和关闭所述泄放阀，

其中所述控制器利用所述气体摩尔分数和逆阀模型计算所述所需的阀流量系数，所述逆阀模型的方程式为：

$$Q = 1360 F_p C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x}{S_g T_1 Z}}$$

其中 Q 是流量、 F_p 是管道系数、 C_v 是阀流量系数、 P_1 是上游压力、 Y 是膨胀系数、 x 是压力降的比率、 S_g 是通过所述泄放阀的气体的比重、 T_1 是气体温度且 Z 是压缩系数。

9、根据权利要求 8 所述的系统，其中所述控制器利用一个用于亚临界流的逆模型和一个用于临界流的逆阀模型，

其中方程式:

$$Q = 1360 C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x}{S_g T}}$$

被用于所述亚临界流, 且方程式:

$$Q = 1360 C_v P_1 \frac{2}{3} \sqrt{\frac{x_t}{S_g T}}$$

被用于所述临界流, 其中 Q 是流量且单位为标准立方英尺/小时、 C_v 是阀流量系数、 P_1 是上游压力、 Y 是膨胀系数、 x 是压力降的比率、 x_t 是端压力降的比率、 S_g 是通过所述泄放阀的气体的比重且 T 是气体温度。

10、根据权利要求 8 所述的系统, 其中所述控制器进一步计算氮进入所述阳极排气内的流速, 并对所述氮的所述流速进行积分以更新所述氮的所述分压。

11、根据权利要求 10 所述的系统, 其中所述控制器利用方程式确定所述阳极排气中的所述氮的流速, 所述方程式为:

$$V_{N_2} = \frac{P_{N_2} A \Delta P_{N_2}}{t}$$

其中 V_{N_2} 是所述阳极排气中的氮的体积流量、 P_{N_2} 是渗透率系数、 A 是膜的面积、 Δp_{N_2} 是透过所述膜的氮分压差且 t 是所述膜的厚度。

12、根据权利要求 8 所述的系统, 其中所述控制器假设所述再循环气体具有 100% 的相对湿度以确定所述水蒸气的所述分压, 且利用所述氮和所述水蒸气的所述分压确定所述氢的所述分压, 其中所述氮、所述水蒸气和所述氢的所述分压的组合是所述阳极排气中总的静压力。

13、根据权利要求 8 所述的系统, 其中所述泄放阀是具有已公知的完全阀流量系数的脉冲宽度调制的电磁阀, 且所述控制器将所述电磁阀的占空因数设定为所述所需的阀流量系数与所述完全阀流量系数的比率。

14、根据权利要求 8 所述的系统, 其中所述燃料电池系统位于车辆上。

15、一种燃料电池系统, 所述燃料电池系统包括:

包括阳极输入装置和阳极输出装置的燃料电池堆;

用于从所述阳极输出装置周期性地泄放阳极排气的泄放阀; 和

用于控制所述泄放阀的控制器, 其中所述控制器利用一种模型估算所述阳极排气中的气体成分的气体摩尔分数且利用逆阀模型计算所需

的阀流量系数从而以导致产生所需阳极化学计量的流速泄放所述阳极排气，

其中所述逆阀模型的方程式为

$$Q = 1360 F_p C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x}{S_g T_1 Z}}$$

其中 Q 是流量、 F_p 是管道系数、 C_v 是阀流量系数、 P_1 是上游压力、 Y 是膨胀系数、 x 是压力降的比率、 S_g 是通过所述泄放阀的气体的比重、 T_1 是气体温度且 Z 是压缩系数。

16、根据权利要求 15 所述的系统，其中所述控制器利用一个用于亚临界流的逆模型和一个用于临界流的逆阀模型，

其中方程式：

$$Q = 1360 C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x}{S_g T}}$$

被用于所述亚临界流，且方程式：

$$Q = 1360 C_v P_1 \frac{2}{3} \sqrt{\frac{x_t}{S_g T}}$$

被用于所述临界流，其中 Q 是流量、 C_v 是阀流量系数、 P_1 是上游压力、 Y 是膨胀系数、 x 是压力降的比率、 x_t 是端压力降的比率、 S_g 是通过所述泄放阀的气体的比重且 T 是气体温度。

燃料电池阳极化学计量控制

技术领域

本发明主要涉及一种用于确定何时对燃料电池系统的阳极再循环回路实施泄放阳极排出物的过程的系统和方法，且特别是，本发明涉及一种用于确定何时对燃料电池系统的阳极再循环回路实施泄放阳极排出物的过程的系统和方法，其中所述方法包括利用模型估算出阳极排气中的气体成分且利用逆阀模型 (inverse valve model) 计算所需的阀流量系数从而以导致产生所需的阳极化学计量的流速泄放阳极排气。

背景技术

氢由于其清洁以及可用于在燃料电池中高效发电的性能而是一种非常有吸引力的燃料。氢燃料电池是包括阳极和阴极以及位于其间的电解质的电化学装置。阳极接收氢气且阴极接收氧或空气。氢气在阳极产生离解以产生自由质子和电子。质子通过电解质到达阴极。质子在阴极与氧和电子进行反应以产生水。来自阳极的电子不能通过电解质，且因此在被传输至阴极之前被引导通过负载而作功。

质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 是一种车辆普遍采用的燃料电池。质子交换膜燃料电池通常包括固体聚合物电解质质子传导膜，如全氟磺酸膜。阳极和阴极通常包括担载在碳颗粒上且与离聚物混合在一起的极细分散的催化颗粒，所述催化颗粒通常为铂 (Pt)。催化混合物被沉积在膜的相对侧上。阳极催化混合物、阴极催化混合物和膜的组合限定出膜电极组件 (MEA)。膜电极组件的制造成本相对较为昂贵且需要特定条件以实现有效运行。

多个燃料电池通常被组合在燃料电池堆中以产生所需功率。例如，用于车辆的典型燃料电池堆可具有两百或更多叠置在一起的燃料电池。燃料电池堆接收阴极输入反应剂气体，所述阴极输入气体通常为在压缩机的作用下受力通过燃料电池堆的空气流。燃料电池堆并未消耗所有的氧且一些空气作为阴极排气被输出，所述阴极排气中可包括作为燃料电池堆副产物的水。燃料电池堆还接收阳极氢反应剂气体，

所述阳极氢输入气体流入燃料电池堆的阳极侧。燃料电池堆还包括供冷却流体流动通过的流道。

燃料电池堆包括位于燃料电池堆中的多个膜电极组件之间的一系列流场或双极板。双极板包括用于燃料电池堆中的相邻燃料电池的阳极侧和阴极侧。阳极反应剂气体流道被设置在双极板的阳极侧上，所述阳极反应剂气体流道允许阳极气体流至膜电极组件的阳极侧。阴极反应剂气体流道被设置在双极板的阴极侧上，所述阴极反应剂气体流道允许阴极气体流至膜电极组件的阴极侧。双极板还包括供冷却流体流动通过的流道。

所希望的是，燃料电池堆中的阳极流道内的氢分布是大体上恒定的以便使燃料电池堆正常运行。因此，本领域中已公知的做法是：将比燃料电池堆的特定输出负载所需的氢更多的氢输入燃料电池堆内以便易于实现该阳极气体分布。然而，由于存在这种需求，因此阳极排气中的氢量就十分重要，且如果该氢被清除（discarded）则将导致较低的系统效率。因此，本领域中已公知的做法是：使阳极排气再循环回到阳极输入装置以重新利用被清除的氢。

膜电极组件是多孔的且因此允许空气中的氮从燃料电池堆的阴极侧透过所述膜电极组件且收集在燃料电池堆的阳极侧，这一过程在本行业中被称作氮穿越（nitrogen cross-over）。燃料电池堆阳极侧的氮使氢得到稀释，这使得如果氮的浓度升高并超过特定百分比，如80%，则燃料电池堆变得不稳定且可能失效。本领域中已公知的做法是：在燃料电池堆的阳极输出装置处设置泄放阀以从燃料电池堆的阳极侧除去氮。被泄放的氢可被传输至任何适当位置例如燃烧室或环境。

为了使燃料电池堆在最佳条件下运行并且使系统性能最大化，阳极再循环气体中需要存在足够大量的氢且需要获得特定的再循环速率。然而，目前没有适用于燃料电池系统的氢浓度传感器或流速传感器。因此，不可能获得对运行参数如再循环流量和阳极氢浓度的直接可控性。

发明内容

根据本发明的教导，披露了一种用于控制燃料电池系统的阳极排气泄放阀的系统和方法，所述方法包括估算出所述阳极排气中的气体

成分、利用逆阀模型计算所需的阀流量系数，并且以导致产生所述所需的阀流量系数的流速泄放所述阳极排气。所述方法包括确定所述阳极排气中氮的分压，并且利用氮的所述分压计算所述阳极排出物中氮的流速。所述方法还包括计算所述阳极排气中水蒸气和氢的分压，并且利用所述氮、所述水蒸气和所述氢的所述分压计算再循环气体中所述氮、水蒸气和氢的气体摩尔分数。所述方法还包括利用所述阳极排气中氮、水蒸气和氢的所述气体摩尔分数确定所需的阀流量系数，并利用所述所需的阀流量系数确定何时打开和关闭所述泄放阀。

通过结合附图并阅读以下说明书和所附权利要求书将易于理解本发明的附加特征。

附图说明

图 1 是根据本发明的一个实施例的采用用于控制泄放阀的控制技术的燃料电池系统中的阳极再循环回路的示意图；

图 2 是示出了用于估算阳极排气成分的控制策略的流程图；和

图 3 是示出了用于控制泄放阀的控制策略的流程图。

具体实施方式

下面对本发明的实施例进行的针对一种用于控制燃料系统中的阳极泄放阀的方法的描述在本质上仅是示例性的，且绝不旨在限制本发明或其应用或使用。例如，下面描述的本发明的用于控制泄放阀的方法可应用于使用阳极再循环的燃料电池系统。然而，正如本领域技术人员易于理解地，该用于控制泄放阀的方法将可应用于其它燃料电池系统如阳极流量变换 (anode flow shifting) 系统中。

图 1 是包括燃料电池堆 12 的燃料电池系统 10 的示意图。来自氢源 14 的氢气被供应至混合接头 16 且随后通过管线 18 被传输至燃料电池堆 12 的阳极侧。阳极排气通过管线 20 从燃料电池堆 12 中被输出并被传输至泄放阀 26。再循环泵 30 将阳极排气泵送通过阀 26 并使所述阳极排气到达混合接头 16，以便使所述阳极排气与来自氢源 14 的新鲜的氢混合，从而提供阳极再循环回路。再循环回路内的压力需要受到控制以便使该压力约等于燃料电池堆 12 的阴极侧上的压力。通过使来自源 12 的新鲜的氢与再循环的阳极排气在混合接头 16 处混合而成的

适当混合物而对燃料电池堆 12 的阳极侧的压力进行设定。新鲜的燃料与再循环燃料的比率取决于多种因素，如运行条件、再循环泵的体积流速等。

如上所述，从燃料电池堆 12 的阴极侧进行的氮穿越使阳极侧的氢得到稀释，这影响了燃料电池堆的性能。因此，有必要周期性地泄放阳极排气以减少进行再循环的氮的量。在泄放氮的过程中，对阀 26 进行控制以使阳极排气的一部分从再循环回路转向至排出管线 28。有利的做法是：使阳极气体的再循环速率适应于燃料电池的负载和氢供给气体流量，从而有助于支持适当的水管理并降低燃料电池系统上的寄生负载 (parasitic load)。

为了对阳极气体再循环进行监控，在系统 10 中设置了多个传感器。特别是，压力传感器 36 测量管线 20 中的阳极再循环回路中的压力且压力传感器 24 测量再循环泵 30 上的压力。进一步地，温度传感器 38 测量管线 18 中的再循环回路中的再循环气体的温度。此外，脱水器 32 从阳极排气中去除副产物水。在再循环回到输入管线 18 的阳极排气中存在的水蒸气帮助进行必要的膜湿化，尤其是在燃料电池堆 12 的入口侧处实现这种湿化。控制器 34 基于下面所述的内容对从氢源 14 供应的新鲜的氢的量、泵 30 的速度和泄放阀 26 的位置进行控制。控制器 34 还接收来自压力传感器 36 和 24 以及温度传感器 38 的测量信号。

基于上面所讨论的情况，所希望的是，控制器 34 知晓何时向排出管线 28 进行泄放阳极排气的过程。在一些系统中，如果再循环回路中的氢浓度降到预定的百分比如 50% 以下，则控制器 34 将打开泄放阀 26 达一定的预定时间以降低氮的量。

正如下面将要进行详细讨论地，控制器 34 利用一种模型估算出管线 20 中的阳极排气的气体成分，并且利用逆阀模型以计算以实现所需阳极化学计量的流速泄放阳极再循环气体所需要的所需阀流量系数 C_v 。控制器 34 随后对泄放阀 26 进行控制以获得所需阀流量系数 C_v 。尽管下面讨论的模型特别地应用于从泄放阀 26 泄放再循环气体的情况，但该模型还可应用于不采用阳极再循环的其它燃料电池系统设计中。

氮穿越是穿过燃料电池中的膜的氮分压和膜的渗透率的函数，即

为:

$$V_{N_2} = \frac{P_{N_2} A \Delta P_{N_2}}{t} \quad (1)$$

其中 V_{N_2} 是阳极再循环气体的体积流量、 P_{N_2} 是阻挡层的渗透率系数、 A 是膜的面积, 单位为 cm^2 、 ΔP_{N_2} 是穿过膜的氮分压差, 单位为 cmHg 、且 t 是膜的厚度, 单位为 cm 。在该计算公式中, 作出了某些假设, 特别是假设阴极入口气体中包括 79% 的氮, 阳极排气是 100% 湿化的。

随后, 可利用模拟方程式 (1) 的算法计算氮进入再循环气体内的体积流速。图 2 是该算法的流程图 40。该算法在框 42 中基于阳极入口和出口上的压力、再循环气体的温度和再循环气体的体积而设定任意但合理的阳极氮分压初始条件 (通常为零)。该算法还在框 44 中获知作为阴极入口和出口上的压力以及温度的函数的平均阴极氮分压。阴极氮分压和阳极氮分压在框 46 中相减以确定阴极与阳极之间的氮分压差的驱动力 Δp_{N_2} 。在框 48 中确定作为温度和特定地对应于膜材料的其它因素的函数的膜渗透率系数 P_{N_2} 。随后在框 50 中基于膜的面积 A 和膜的厚度 t 而利用膜渗透率系数 P_{N_2} 和驱动力 Δp_{N_2} 确定通过阳极再循环回路的氮的体积流速。当控制器 34 发出泄放的指令时, 通过减法器 52 从在框 50 中计算的流速中减去氮从阳极再循环气体向排出物流动的流速。随后在框 56 中对阳极再循环回路中的氮含量进行积分, 由此获得了阳极的氮的摩尔分数并提供了用于框 42 的氮分压的更新的计算结果。

氮分压模型利用氮穿越速率估算出燃料电池堆 12 的阳极出口处的氮分压 P_{N_2} 。基于所述温度, 可计算再循环气体中的水蒸气的分压。其余的分压被假设为氢燃料的分压。这些分压可随后用于计算三种气体的摩尔分数。气体摩尔分数和逆阀模型被用于计算所需的阀流量系数 C_v 。从而以导致产生所需阳极化学计量的流速泄放阳极再循环气体。

可通过达西方程式 (Darcy's equation) 获得可压缩流体的流量, 所述方程式为:

$$Q = 1360 F_p C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x}{S_g T_1 Z}} \quad (2)$$

其中 Q 是流量, 单位为标准立方英尺/小时 (SCFH)、 C_v 是在 1 psid 的压差和 60°F 的温度下的阀流量系数, 单位为水的加仑数/分钟、 P_1 是单位为磅/平方英寸的上游压力的绝对值、 Y 是膨胀系数、 x 是压力降的比率、 S_g 是通过阀 26 的气体的比重、 T_1 是气体温度, 单位为 °R、 F_p 是管道系数且 Z 是压缩系数。当阀的入口和出口管道具有适当尺寸时, 管道系数 F_p 约等于 1。此外, 对于本申请中的气体和压力而言, 压缩系数为约 1。

比重 S_g 是气体的分子量 MW 与空气的分子量 MW 之比, 即为:

$$S_g = \frac{MW_{\text{气体}}}{MW_{\text{空气}}} \quad (3)$$

再循环气体的分子量 MW 是气体的气体摩尔分数与其分子量的乘积之和, 即为:

$$MW_{\text{气体}} = mf_{H_2} 2.016 + mf_{H_2O} 18.015 + mf_{N_2} 28.013 + mf_{O_2} 31.999 \quad (4)$$

由上式可得:

$$S_g = \frac{mf_{H_2} 2.016 + mf_{H_2O} 18.015 + mf_{N_2} 28.013 + mf_{O_2} 31.999}{0.0126 * 18.015 + 0.7815 * 28.013 + 0.2059 * 31.999} \quad (5)$$

其中 mf 是摩尔分数, 且其中:

$$mf_{H_2} + mf_{H_2O} + mf_{N_2} + mf_{O_2} = 1 \quad (6)$$

膨胀系数 Y 由下式给出:

$$Y = 1 - \frac{x}{3F_k x_t} \quad (7)$$

其中:

$$F_k = \frac{K}{1.4} \quad (8)$$

且其中 x 是压力降的比率、 x_t 是端压力降的比率、 F_k 是比热系数的比率、 K 是比热的比率。对于本申请中的气体和压力而言，比热的比率为约 1.39，因此， F_k 为约 1。

压力降比率 x 由下式给出：

$$x = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \quad (9)$$

其中 P_2 是单位为磅/平方英寸的下游压力的绝对值。值 x_t 是端压力降的比率且特定地对应于阀的几何形状，且可凭经验确定该值。

当 $x < F_k * x_t$ 时，流体流处于亚临界状态，且当 $x > F_k * x_t$ 时，流体流处于临界状态。在后一种情况下，利用 $F_k * x_t$ 代替 x 。通过上面的描述，亚临界流和临界流的流量 Q 的表达式可简化为：

$$Q = 1360 C_v P_1 Y \sqrt{\frac{x}{S_g T}} \quad (10)$$

$$Q = 1360 C_v P_1 \frac{2}{3} \sqrt{\frac{x_t}{S_g T}} \quad (11)$$

重新调整上面的方程式并对用于亚临界流和临界流的阀流量系数 C_v 进行求解，得出下式：

$$C_v = \frac{Q \sqrt{S_g T}}{1360 P_1 Y \sqrt{x}} \quad (12)$$

$$C_v = \frac{Q \sqrt{S_g T}}{1360 P_1 \frac{2}{3} \sqrt{x_t}} \quad (13)$$

已公知的是：

$$\dot{n}_{H_2_consumed} = \frac{I \# Cells}{2Fa} \quad (14)$$

$$H_{2_bleed} = H_{2_consumed} (stoich - 1) \quad (15)$$

其中 $\dot{n}$ 是由燃料电池堆 12 消耗的氢的流速，单位为摩尔/秒、 I 是电流，单位为安培、 Fa 是法拉第常数，单位为库仑/摩尔、 H_{2_bleed} 是被泄放通过泄放阀 26 的氢的量、且 $H_{2_consumed}$ 是由燃料电池堆 12 消耗的氢的量。

通过上面讨论的阳极模型，可以获知气体摩尔分数。因此，阳极排出物的流速 $\dot{n}$ 可被求解为：

$$\dot{n}_{H_2} = \dot{n}_{total} m f_{H_2} \quad (15)$$

$$\dot{n}_{total} = \frac{\dot{n}_{H_2}}{m f_{H_2}} \quad (16)$$

阳极排出物的流速值随后可被代入方程式 (11) 和 (12) 中，其中 $Q = \dot{n}$ （在进行适当的单位换算之后），以获得用于亚临界流和临界流的所需阀流量系数 C_v 。所确定的是，如果流体流处于亚临界或临界状态，则利用适当的方程式以获得一个 C_v 值。

控制器 34 随后对泄放阀 26 进行控制以获得所需的阀流量系数 C_v 。泄放阀 26 可以是可变孔口的针式阀。在一个实施例中，泄放阀 26 是具有已公知的完全阀流量系数 C_{v_valve} 的电磁阀。可对阀 26 进行脉冲宽度调制以获得有效的 C_v 。阀 26 的占空因数将被设定为所需的阀流量系数 C_v 与完全阀流量系数 C_{v_valve} 的比率，即为：

$$duty_cycle = \frac{C_v}{C_{v_valve}} \quad (18)$$

图 3 是示出了基于上面所述的情况控制泄放阀 26 的控制策略的流程图 60。控制算法首先在框 62 中确定阳极化学计量的设定值。该算法随后在框 64 中基于框 66 中的燃料电池堆负载计算氢泄放流量。该算法随后在框 68 中利用来自框 56 的阳极再循环回路中氮含量的积分值计算总的泄放流量。该算法随后在框 70 中计算阀流量系数 C_v 以在框 72 中控制泄放阀 26。

前面的讨论仅披露和描述了本发明的典型实施例。本领域的技术人员将易于通过这种讨论且通过附图以及权利要求书意识到：可在不偏离由以下权利要求书限定的本发明的精神和范围的情况下，对本发明作出多种改变、变型和变化。

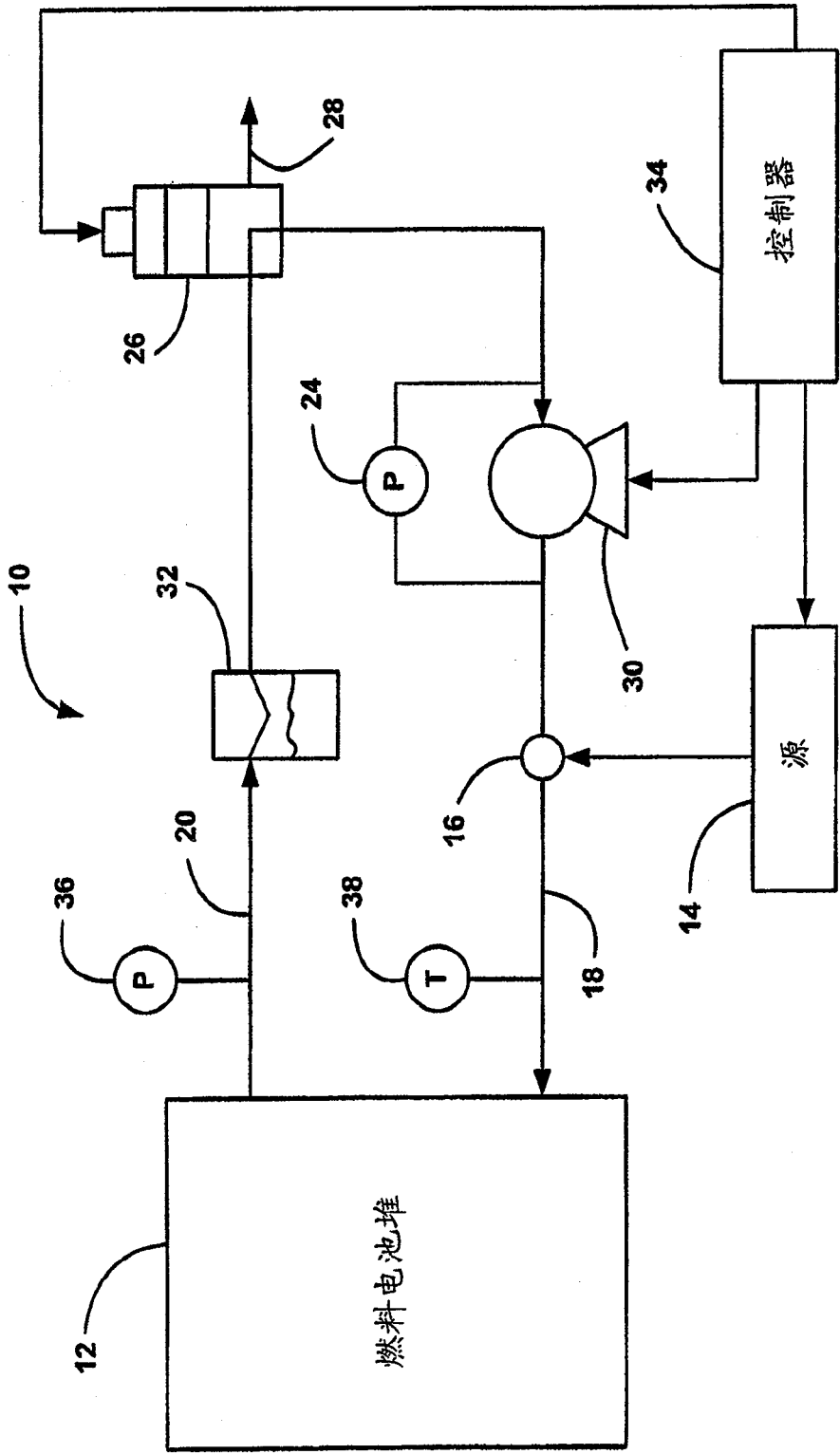


图 1

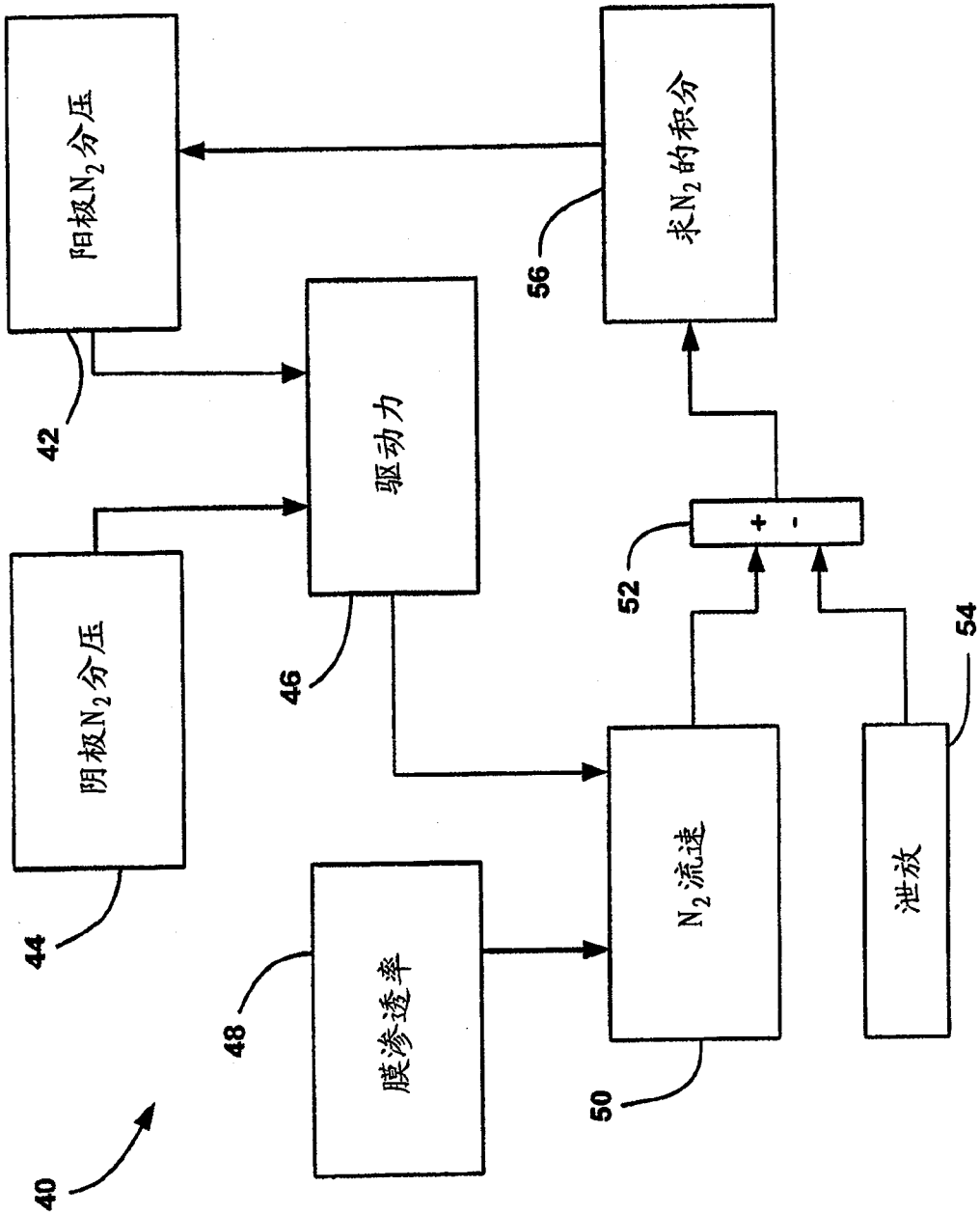


图 2

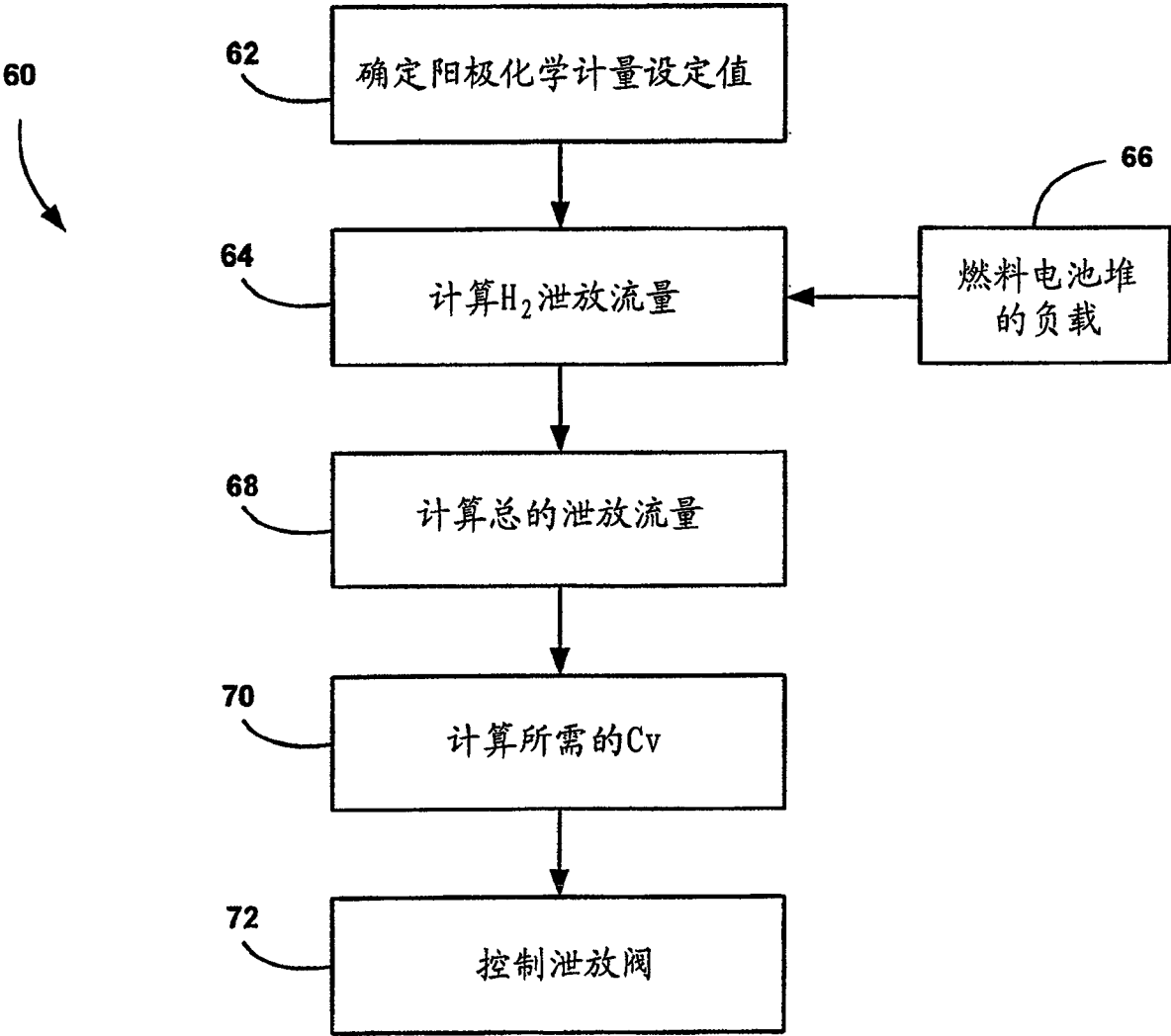


图 3